

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
POSTGRADO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS
INVESTIGACIÓN APLICADA**

**IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES QUE PERMITAN LA
GESTIÓN MINERA SUSTENTABLE DE LOS FOSFATOS DE
LA FORMACIÓN NAVAY, ESTADO TÁCHIRA**

Ingeniera Aurora B. Piña D.
Candidata a la Maestría en Ciencias Geológicas
Tutora de la Investigación Aplicada:
Profesora MSc. Alba J. Castillo

ÍNDICE

MATERIA	PÁGINA
Resumen	5
Capítulo I. Introducción	6
Metodología de la Investigación	7
Objetivos	7
Objetivo General	7
Objetivos Específicos	7
Alcance de la Investigación	8
Justificación	8
Formación Navay	8
Descripción Geológica Local	8
Ubicación Geográfica	10
Importancia del fosfato	11
Capítulo II. Marco Teórico	12
Bases teóricas	12
Riesgo e incertidumbre	12
Elementos importantes para la toma de decisiones bajo riesgo	12
Variables que aportan Riesgo e Incertidumbre en Proyectos Mineros	13
Variables vinculadas al yacimiento	14
Variables vinculadas a la operación minera	14
Variables vinculadas al mercado y al contexto exterior	15
Metodologías Exploradas para Toma de Decisiones y la Identificación de Indicadores de Sustentabilidad aplicables a los fosfatos de la Formación Navay	16
Ventana de Johari	17
Diagrama de Ishikawa o espina de pescado	18
Diagrama de Alternativas	19
Diagrama del Ciclo de Vida de un Producto	20
Capítulo III. Identificación de Variables que Aportan Riesgo e Incertidumbre al Proyecto Minero de Explotación de Fosfatos de la Formación Navay	22
Identificación de variables que aportan Riesgo e Incertidumbre al Proyecto de explotación de fosfatos en la Formación Navay, estado Táchira	22
Variables identificadas	22
Condiciones y condicionantes de los procesos mineros, que pueden llegar a ser consideradas como variables de riesgo	24
En las operaciones de arranque	24
En las operaciones de carga y acarreo	25

MATERIA	PÁGINA
En las operaciones de beneficio de la mena	26
En las operaciones de desarrollo, construcción de escombreras y/o pilas de material mineral no conforme	26
Capítulo IV. Aplicación de Metodologías para la Identificación de Indicadores de Sustentabilidad	28
Metodología para la Toma de Decisiones. Posibilidades de análisis	28
Grafico de combinaciones de equipos en operaciones unitarias en minería de fosfatos	28
Diagramas de Ishikawa aplicados a la producción (operaciones mineras) y al proceso de beneficio de fosfatos	29
Diagrama aplicado a la producción de fosfatos	29
Diagrama aplicado al beneficio de fosfatos	30
Aspectos Críticos detectados	31
Diagrama de Alternativas de posibles combinaciones de operaciones unitarias en minería de fosfatos	31
Diagrama del Ciclo de Vida de un Producto aplicado a la explotación de fosfatos	32
Otras herramientas aplicadas	33
Afectaciones identificadas para minería de fosfatos en Navay	39
Información necesaria para disminuir el riesgo e incertidumbre para algunas variables internas, relacionadas con el yacimiento y la explotación minera	42
Análisis de Resultados. Indicadores de Sustentabilidad Identificados	44
Conclusiones y Recomendaciones	47
Referencias Consultadas	48
Anexos	51
Anexo A. Legislación venezolana	52
Anexo B. Fases de Desarrollo de un Proyecto Minero	53
Anexo C. Generalidades del Uranio	54

ÍNDICE DE FIGURAS Y CUADROS

FÍGURAS	PÁGINA
Figura 1: Situación relativa regional, tomada de los mapas del “Estudio de Exploración Definitivo de Roca Fosfática del Yacimiento Los Monos, Municipio Libertador, estado Táchira”	10
Figura 2: Fuentes de incertidumbre de un proyecto minero	13
Figura 3: Ejemplo de Ventana de Johari	17
Figura 4: Ejemplo de Diagrama de Ishikawa	19
Figura 5: Alternativas de carga y acarreo de la mina de cobre de Tyrone en Arizona	20
Figura 6: Ciclo de vida general para un producto. Tomado de la web de Procter & Gambler	21
Figura 7: Posibles combinaciones de equipos en operaciones unitarias para minería de fosfatos en la Formación Navay, estado Táchira	29
Figura 8: Diagrama de espina de pescado aplicada a las operaciones unitarias de producción de mineral fosfático	30
Figura 9: Diagrama de espina de pescado aplicada a las operaciones de beneficio del mineral fosfático	30
Figura 10: Diagrama de Alternativas aplicada a las operaciones unitarias de producción en minería de fosfatos	32
Figura 11: Ciclo de Vida de las operaciones involucradas en la producción de fosfatos	33
Figura 12: Procesos que afectan al medio gaseoso / atmosférico	36
Figura 13: Procesos que afectan al medio líquido / recurso agua	36
Figura 14: Procesos que afectan al biológico y social	37
Figura 15: Procesos que afectan al medio sólido / suelo	37
Figura 16: Localización del riesgo en el “Espacio del riesgo”	38
CUADROS	PÁGINA
Cuadro 1: Variables identificadas en el proyecto de fosfatos en la Formación Navay, que aportan riesgo e incertidumbre.	23
Cuadro 2: Egresos por proceso y componente físico-biológico-social afectado	34
Cuadro 3: Proceso y forma de afectación a los diferentes medios socio - naturales	35
Cuadro 4: Resumen de recomendaciones y medidas mitigantes a las afectaciones identificadas para minería de fosfatos	40
Cuadro 5: Cuadro de componente perturbado, forma de afectación y legislación aplicable al caso particular	41
Cuadro 6: Resumen de los Indicadores de sustentabilidad identificados para la futura explotación de fosfatos en la Formación Navay	46

RESUMEN

Palabras claves: Formación Navay, fosfatos, minería, riesgo e incertidumbre, indicadores de sustentabilidad, gestión sustentable.

Este trabajo se realizó como complemento de una investigación principal acerca de fosfatos en la Formación Navay, estado Táchira. El objetivo principal es la identificación de indicadores que permitan una gestión sustentable de esta explotación. Se exploran algunas metodologías aplicables para la identificación de estas variables de gestión. La aplicación de las herramientas escogidas dio como resultado que la mayoría de las variables provienen del mismo proyecto (variables internas) y otras de fuentes externas. Los más resaltantes están relacionados con el grado de conocimiento de la geología y el método minero, incluido el beneficio de minerales, además de la percepción pública del uranio contenido en la mena. Se incluyen en la identificación del medio afectado, la legislación venezolana vigente aplicable. La principal conclusión es la necesidad de conocer detalladamente la geología local, para lograr una buena gestión de la explotación. La principal recomendación es continuar con los estudios en las Fases de Desarrollo de un Proyecto Minero, para disminuir las posibilidades de riesgos e incertidumbre en el proyecto de explotación de fosfato a ser desarrollado.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Debido al significativo potencial de daño que las explotaciones mineras promueven o inducen, se hace urgente la visualización con fines de previsión de tantos escenarios de riesgos y tantas posibilidades de ocurrencia de efectos negativos como sea posible, durante la fase más preliminar posible de planificación minera, territorial y ambiental. La identificación de indicadores de sustentabilidad en minería resulta del proceso de reconocimiento y ponderación de las variables que aportan riesgo e incertidumbre a los proyectos mineros. En el caso particular de esta investigación aplicada, la extensa literatura acerca de los procesos de gestión, análisis de riesgos, toma de decisiones y desarrollo sustentable ofrece las aproximaciones de naturaleza cualitativa y cuantitativa para el reconocimiento y ponderación de las variables más significativas, en el potencial de daños en los medios físico natural y socio económico cultural perceptual.

La finalidad de este Seminario de Investigación es aportar información necesaria para desarrollar el objetivo cuatro, del proyecto de Trabajo Especial de Grado para la Maestría en Ciencias Geológicas, titulado: Modelo Geológico para Determinar la Factibilidad Minera de los Fosfatos de la Formación Navay, estado Táchira. En esta monografía se trabaja con la información disponible acerca del yacimiento de mineral fosfático, dentro de la Formación Navay de edad Cretácica como lo describe Rodríguez (1989), ubicado en el estado Táchira. Esta investigación consta de cuatro secciones denominadas capítulos, donde se exponen los objetivos de la misma, un marco teórico para comprender la forma cómo se procedió para hallar los indicadores de sustentabilidad, la aplicación de las metodologías, adaptaciones de las mismas a este trabajo y los resultados obtenidos, un análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones para la minería de fosfatos en el referido yacimiento en el estado Táchira.

El objetivo principal de este esfuerzo ha sido la compilación de información disponible para determinar una serie de indicadores que permitan en el futuro una gestión sustentable de esta explotación, esto es, aprovechando el mineral para el desarrollo nacional presente y futuro. El desarrollo teórico describe la importancia del fósforo y es, a su vez, una justificación para realizar otra exploración de fosfatos en Venezuela, la información geológica regional de la Formación Navay del Léxico Estratigráfico en línea, los criterios de reconocimiento de las variables que aportan riesgo e incertidumbre a este proyecto minero y los métodos para identificación de los posibles indicadores. Todos estos criterios se incluyen porque se consideran claves para la toma de decisiones en minería sustentable.

La fase siguiente, se aplican las metodologías seleccionadas para reconocimiento de variables que aportan riesgo e incertidumbre al proyecto minero de fosfatos y las

metodologías para la identificación de indicadores de sustentabilidad. En estas empezamos a reconocer los diferentes escenarios mineros y sus posibles combinaciones. Con estos insumos ya podemos establecer los ingresos y egresos por procesos, además de incorporar cuál es el componente afectado por estos. La información se sistematiza en cuadros y esquemas para facilitar su comprensión y visualización.

En el análisis de resultados observamos que los indicadores más numerosos están relacionados con la información geológica y la forma de hacer la explotación minera, las cuales están en la categoría de variables internas del proyecto. Entre las variables externas, pero no menos importantes se encuentran lo relativo al mercado y a lo social perceptual, entre otros.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

OBJETIVOS

Objetivo general

Establecer a partir de la información disponible indicadores de sustentabilidad ponderados que coadyuven en el proceso de gestión sustentable de la explotación de fosfatos de la Formación Navay, estado Táchira.

Objetivos específicos

Recopilar la información geológica y geoambiental disponible acerca de los fosfatos de la Formación Navay, estado Táchira.

Identificar las variables que aportan riesgo e incertidumbre al proyecto de explotación minera de fosfatos en la Formación Navay.

Aplicar las diferentes metodologías para identificación de indicadores de sustentabilidad para la minería de fosfatos en la Formación Navay.

Sistematizar indicadores de sustentabilidad reconocidos y ponderados para la toma de decisiones en la minería de fosfatos de la Formación Navay.

ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Debido a las limitaciones de información disponible para este trabajo, esta investigación pretende llegar solamente hasta la identificación de indicadores de sustentabilidad para minería de fosfatos en la Formación Navay.

Este seminario de investigación comprende la identificación y clasificación de posibles indicadores de sustentabilidad, para minería de fosfatos en la Formación Navay, estado Táchira. La misma comprende la estimación con la información técnica disponible de los escenarios mineros posibles, la determinación de indicadores, algunas recomendaciones para la gestión integral minera de fosfatos con cierre de mina y la identificación de los escenarios que aportan riesgo e incertidumbre a este proyecto minero.

JUSTIFICACIÓN

Esta investigación se justifica, pues de ella saldrán insumos para completar la información necesaria para la elaboración y desarrollo del objetivo específico cuatro del proyecto de tesis: Modelo geológico para determinación de la factibilidad minera, de los fosfatos de la Formación Navay, estado Táchira. A partir de este trabajo resultará información de importancia para la toma de decisiones en la administración y gestión minera sustentable con cierre de mina (planificación integral), que considera los indicadores que se pueden medir además de las variables que aportan riesgo e incertidumbre al proyecto minero de fosfatos en el estado Táchira.

FORMACIÓN NAVAY

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA LOCAL. (Léxico Estratigráfico en línea, consulta 25 febrero de 2010)

Descripción litológica: Pierce (1960), la describe en la localidad tipo como compuesta por lutitas silíceas, friables a no friables, blandas, duras, quebradizas, amarillo claro a crema y a blanco; lutitas tripolíticas muy porosas, pardo claro a gris claro, y algunas ftanitas no porosas, lenticulares, pardo claro, y lutitas calcáreas, carbonáticas, gris a gris oscuro. Como constituyentes menores de la formación geológica, se presentan areniscas lenticulares de grano angular, calcáreas a silíceas, pardo claro a gris claro. Estas areniscas, muy calcáreas a veces, se han definido como calizas clásticas, probablemente por su contenido fosilífero. En afloramientos, las lutitas carbonáceas se meteorizan y lixivian a lutitas gris a pardo. Signos característicos son su fina laminación, restos fosfatizados de peces (vértebras, escamas y espinas), común glauconita, las ftanitas y una relativamente fácil correlación de

electrofacies a través de la cuenca. Ha sido repartida, en orden ascendente, en la lutita "N" (Miembro La Morita) y "M" al "I" (Miembro Quevedo). Tiende a ser más arenosa hacia arriba; se vuelve muy arenosa hacia el Escudo de Guayana y hacia Apure y la Cuenca Los Llanos. En el afloramiento, la formación se meteoriza comúnmente a colores claros: gris claro, blancuzco, beige, marrón clara y con una textura silíceo porosa, "tripolítica" o "porcelanizada".

Kiser (1961), describe la parte inferior (La Morita) como compuesta de lutitas arcillosas suaves, gris claro a oscuro, con abundancia local de restos de peces. El límite superior estaría en la base de la lutita, limolita o caliza silíceo, dura y quebradiza más inferior de la sección suprayacente (Quevedo). Esta última sección la describe como compuesta de lutitas silíceas, calizas silíceas y fñanitas con areniscas, lutitas y limolitas interestratificadas, y se caracteriza por rápidas variaciones laterales en la posición estratigráfica, y porcentaje de varios de sus componentes litológicos. La superposición e interdistribución de varios litotipos, hacen casi imposible una detallada correlación aún a corta distancia. Los estratos silíceos son más comunes en los intervalos "M", "J" y "K".

El Miembro Quevedo fue introducido por Renz (op. cit.), para designar una secuencia de rocas silíceas, duras, quebradizas, de fractura concoidea, predominantemente lutíticas, de color gris claro que meteorizan a blanco, que incluye además intercalaciones de areniscas gruesamente estratificadas, con estructura flaser en su parte media, lutitas negras, calizas fosfáticas y capas de fñanita que constituyen hasta un 40, de la sección. Los restos de peces forman más del 50% de las capas de areniscas, y aunque la formación es en general muy fosilífera, las faunas están muy mal preservadas y por consiguiente son de difícil identificación.

Sánchez y Lorente (1977), describen en el área de Santa Bárbara de Barinas, una sección inferior de lutitas blancas con escasos fósiles, una sección media con capas de areniscas, conglomerados finos, fangolitas y lutitas blancas con fósiles de plantas; y en los niveles superiores, se presentan bancos de lutitas de estratificación gruesa (2 m de espesor), de lutitas de color gris claro a gris oscuro. Ambos tipos de lutitas presentan fractura concoidea y meteorizan a blanco. Sánchez y Lorente (op. cit.) recalcan, que de acuerdo al análisis de difracción de rayos X, el Miembro Quevedo en esta área de estudio, no presenta lutitas silíceas (cemento silíceo).

Paleoambientes: Feo-Codecido (1972), afirma que el Miembro La Morita es de ambiente marino moderadamente profundo, hacia el flanco suoriental cambia a ambiente de aguas marinas menos profundas, indicado por una secuencia casi enteramente arenácea. Kiser (1988) menciona que la presencia de radiolarios, en este mismo miembro, sugiere

profundidades mayores de 300 m (984'). De acuerdo a Sánchez y Lorente (1977), el Miembro Quevedo "se depositó a lo largo de una línea de costa, con numerosas desembocaduras de ríos que formaban estuarios", de aguas salobres, con PH menor de 7,8 y bien oxigenadas entre el límite de baja marea y la región litoral.

Importancia económica: Feo-Codecido (1972), afirma que algunas zonas productoras de hidrocarburos de los campos de Silvestre y Sinco en el estado Barinas, corresponden a las rocas del Miembro Quevedo. las lutitas del miembro La Morita son el sello vertical de los yacimientos petrolíferos cretácicos en Barinas y Apure; en donde está ausente por erosión, permite la comunicación de las areniscas de Escandalosa y Gobernador, suprayacente. Cárdenas (1985), menciona reservas de fosfato de 20 millones de toneladas, en areniscas fosfáticas del Miembro Quevedo, en el área de Los Monos, Táchira suroriental.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La ubicación del área de estudio se encuentra entre las poblaciones de San Joaquín de Navay y Abejales, Yacimiento Los Monos, Formación Navay, estado Táchira. En la figura 1 se muestra la ubicación del área de estudio.



Figura 1: Situación relativa regional, tomada de los mapas del “Estudio de Exploración Definitivo de Roca Fosfática del Yacimiento Los Monos, Municipio Libertador, estado Táchira”, INGEOMIN (2009).

IMPORTANCIA DEL FOSFATO

El fosfato (P_2O_5) es un compuesto importante para la vida. El fósforo es un elemento esencial para las funciones energéticas de todos los seres vivos y para la formación de huesos y dientes. Los animales asimilan el fosfato al alimentarse con plantas y/o con otros animales herbívoros, dependiendo del nivel ocupado en la cadena alimentaria; mientras las plantas lo toman del suelo. El uso más importante de los fosfatos es por parte de la humanidad como fertilizante, aunque también se emplea en grandes cantidades en la industria química.

Como lo explica López et al. (2003) el fosfato de calcio ($Ca_3(PO_4)_2$) es un constituyente de muchas rocas sedimentarias. Desde hace más de un siglo, se descubrió que el fosfato de calcio es un material beneficioso para la tierra de cultivo y desde entonces ha aumentado el empleo de los fosfatos calcáreos como fertilizantes. Aproximadamente el 90% del fosfato producido se emplea como fertilizantes, transformándolo químicamente en formas utilizables.

Las necesidades crecientes del mercado mundial, actualmente suplido por China y África del Norte, al parecer no podrán satisfacerlo completamente, pues la producción de China en parte es para cubrir sus propias necesidades. Actualmente, los principales productores en el mundo de fosfato son los siguientes países: Estados Unidos, China, África del Norte y Medio Oriente, donde se encuentran también los mayores yacimientos de origen sedimentario de este mineral.

Para Venezuela, el tema de la seguridad alimentaria es una de las razones principales para la explotación de fosfatos. Los requerimientos de aumentar la superficie de siembra en el territorio nacional, es la razón estratégica para la demanda de fosfatos para fertilizantes, la cual depende del tipo de rubro y de las hectáreas sembradas.

Actualmente, se encuentran en explotación las minas de Riecito, Formación Capadare de edad Mioceno ubicada en el estado Falcón. López, et al. (2003) quienes explican que las reservas probadas para el año 1974 alcanzan los 21 millones de toneladas métricas, con una composición química promedio reportada por Slansky (1980) citado por Nathan (1984) (referidos en López, et al. 2003), de 34.28% de P_2O_5 , 5.05% SiO_2 , 1.00% de Al_2O_3 , 0.69% de Fe_2O_3 y 2,23% de F^- . El método minero utilizado en las minas de Riecito es el de bancos a cielo abierto (López et al., 2003).

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

BASES TEÓRICAS

Las bases teóricas de este trabajo buscan el entendimiento de los conceptos y metodologías que se emplearon en la identificación de los indicadores de sustentabilidad, aplicables a la explotación de fosfatos en la Formación Navay estado Táchira.

Riesgo e incertidumbre (Blank y Tarquin, 2006)

El riesgo está presente cuando se anticipa que habrá dos o más valores observables para un parámetro y es posible estimar la probabilidad de que cada valor ocurra. El riesgo es de hecho un aspecto intensamente subjetivo y depende de las percepciones colectivas o personales.

La toma de decisiones bajo incertidumbre significa que hay dos o más valores observables, aunque las probabilidades de su ocurrencia no pueden estimarse o nadie está dispuesto a asignar las posibilidades. En el análisis de incertidumbre con frecuencia se hace referencia a los valores observables como “estados de la naturaleza”.

Elementos importantes para la toma de decisiones bajo riesgo

Algunos fundamentos de probabilidad y estadística son esenciales para realizar correctamente la toma de decisiones bajo riesgo mediante el análisis del valor esperado o la simulación. Estas bases son las siguientes:

1. **Variable aleatoria (o variable):** es una característica o parámetro que puede tomar un valor cualquiera entre los diversos valores. Las variables se clasifican en discretas o continuas. Las variables discretas tienen diversos valores aislados y específicos, mientras que las variables continuas pueden adquirir cualquier valor entre dos límites establecidos, llamados rangos de una variable.
2. **Probabilidad:** es un número entre 0 y 1 que expresa la probabilidad en forma decimal de que una variable aleatoria (discreta o continua) tome cualquier valor de aquellos identificados para ésta. La probabilidad es simplemente la cantidad de posibilidad, dividida entre 100.

VARIABLES QUE APORTAN RIESGO E INCERTIDUMBRE EN PROYECTOS MINEROS (ITGE, 1997)

El primer paso en el análisis de riesgo de un proyecto minero de inversión consiste en identificar las fuentes de incertidumbre, que son aquéllas que intervienen realmente como variables aleatorias. Atendiendo a su origen las variables que aportan riesgo e incertidumbre, se pueden subdividir en tres grupos:

1. Vinculadas al yacimiento.
2. Vinculadas a la operación minera.
3. Vinculadas al mercado y al contexto exterior.

Los dos primeros grupos pueden clasificarse como fuentes internas de incertidumbre y el tercero como una fuente externa. En la figura 2 tenemos un esquema simplificado de las cuales son las variables que aportan incertidumbre al desarrollo de proyectos mineros y en el que vemos su incidencia en el mismo.

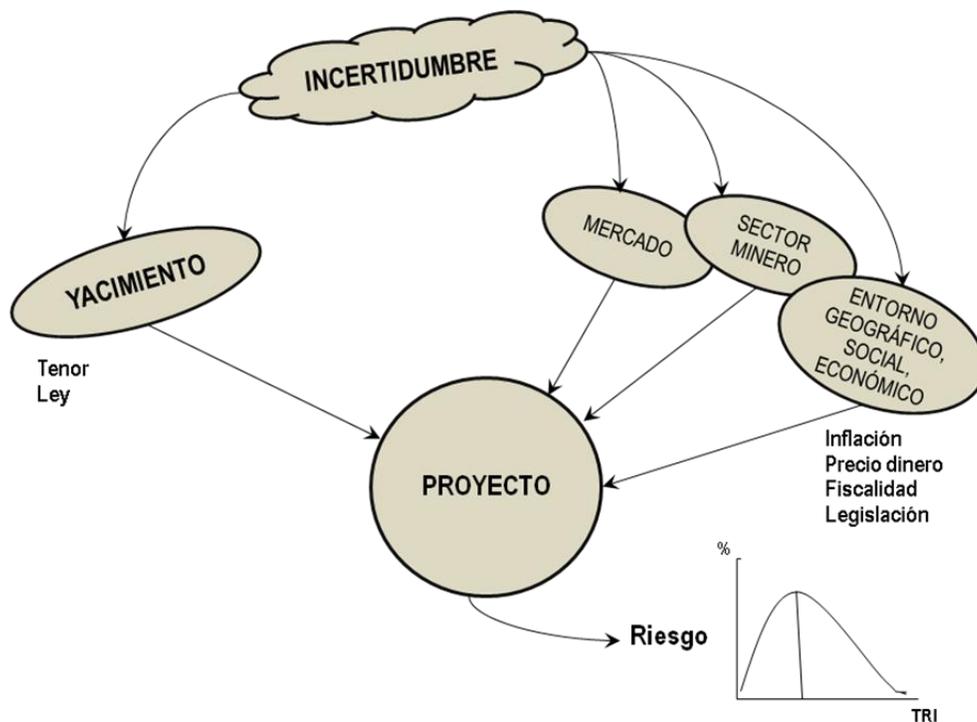


Figura 2: Fuentes de incertidumbre de un proyecto minero. Tomado de ITGE (1997)

Variables vinculadas al yacimiento

Entre las variables ligadas al yacimiento que aportan incertidumbre se encuentran:

1. Los recursos totales y las reservas explotables.
2. Las leyes o calidades de los minerales a beneficiar.
3. Las características mineralógicas de la mena.
4. La disposición y variabilidad espacial de las masas mineralizadas.
5. Las propiedades geomecánicas e hidrogeológicas de los macizos rocosos, entre otros.

La cantidad de reservas explotables condiciona la vida de las minas y las capacidades de extracción. Las leyes de los minerales y sus características mineralúrgicas, son claves en la consecución de los ingresos previstos. Estos intervienen directamente en las fórmulas de valoración de los productos a comercializar. La morfología del yacimiento y las irregularidades de este influyen sobre el diseño e infraestructura, sistema de arranque, grado de aprovechamiento de los recursos, dilución, entre otro. Las características geomecánicas e hidrogeológicas influyen en el diseño geométrico de las minas, costos de explotación, drenaje, entre otros. El riesgo natural o de fuerza mayor, las podemos identificar en aquellas zonas de intensa actividad sísmica, de frecuentes inundaciones, avalanchas, volcanes, etc.

Variables vinculadas a la operación minera

Entre las variables relacionadas con la explotación minera se mencionan:

1. Fases de construcción y puesta en marcha: dependen de la fecha de comienzo de la producción. Constituyen una etapa crítica y un factor de riesgo muy importante, ya que marcan la fecha de comienzo de la producción y, por consiguiente, el momento en que se generan los ingresos previstos en el proyecto.
2. Plazos de maduración, los cuales son siempre superiores a los cinco (5) o diez (10) años, dichos plazos son mucho más dilatados que en otras industrias los cuales aumentan los riesgos por los cambios en las condiciones de mercado, tendencias de consumo, alternativas de sustitución, entre otras.
3. Operaciones mineras. Caracterizada por la rigidez la cual es incomparablemente mayor que en otras actividades industriales y es superior en minería subterránea que a cielo abierto.
4. Mano de obra. La necesidad y requerimientos de mano de obra especializada y disponible en sitios geográficamente aislados o lejanos, aunado a si esta se

encuentra sometida a una mayor probabilidad de accidentes por las condiciones en que se llevan a cabo los trabajos.

5. Riesgo tecnológico, deriva del hecho de que no hay dos yacimientos iguales, cada operación precisa equipos y sistemas que tienen que tantearse y probarse, con la cual se inicia una cadena de actividades con un grado de acierto final difícil de predecir.

VARIABLES VINCULADAS AL MERCADO Y AL CONTEXTO EXTERIOR

Entre las variables que pueden hacer más vulnerable la estabilidad económica de un proyecto minero:

1. Cotización de las materias primas. Es sin duda la materia prima la que puede hacer más vulnerable, la estabilidad económica de un proyecto minero. La mayoría de las materias primas minerales presentan evoluciones de los precios extremadamente irregulares, con fuertes altibajos que repercuten negativamente en la marcha económica de cualquier empresa.
2. Financiamiento del proyecto. La industria minera se caracteriza por su elevada intensidad de capital, debido a las mayores dimensiones de los proyectos como consecuencia del agotamiento progresivo de los yacimientos ricos, pues se hace necesario ir a mayores ritmos de producción para aprovechar el efecto de economías de escala y disminuir los costos de explotación; al desarrollo de minas en áreas inaccesibles o remotas que requieren la construcción de un gran número de obras de infraestructura; a la complejidad de las instalaciones mineras y mineralúrgicas para el beneficio de minerales cada vez más difíciles; al mayor grado de mecanización con vistas a reducir los costos de extracción, entre otros.

El hecho de tener que acudir a los mercados financieros exteriores para obtener los recursos económicos necesarios, superiores en algunos casos al 50% de la inversión total, introduce una componente de riesgo debido a las variaciones en la cotización del tipo de cambio.

También, es de destacar que en algunos proyectos intervienen divisas diferentes para la adquisición de equipos, venta de productos obtenidos, entre otros, y que por lo tanto es preciso contemplar las correspondientes partidas monetarias.

3. Régimen fiscal minero: corresponde a las clases de impuestos e incentivos. Constituye otro factor de riesgo, ya que se utiliza por algunos gobiernos para incentivar e influir en el comportamiento de las compañías mineras. Las clases de impuestos son muy variadas y su aplicación no siempre está sometida a un esquema rígido, sobre todo si se tiene en cuenta la posibilidad de algún cambio durante los períodos productivos y de actividad económica de las minas.
4. Inflación. Es importante considerar la inflación de un país (generalmente el país donde se realiza la explotación). Si hay participación de varios países, se estudian

los efectos de los desequilibrios inflacionarios (sobre todo si se compran materiales y equipos en esos países). La inflación es un fenómeno al que la industria minera no ha escapado y que su incorporación al análisis de los proyectos puede llegar a dificultar la realización de los mismos.

5. Factores políticos. Pueden inducir efectos impredecibles sobre la industria minera y condicionar, por tanto, el desarrollo de nuevos proyectos o la marcha de los ya iniciados, especialmente cuando las inversiones se realizan fuera del país de la empresa promotora. Entre algunos de los factores políticos destacados podemos mencionar:
 - a. Estabilidad o régimen del partido en el poder.
 - b. Situación laboral y política salarial en el país.
 - c. Relaciones internacionales con otros países.
 - d. Limitaciones en la participación de capital extranjero.
 - e. Nacionalizaciones en sectores básicos.
 - f. Requerimientos en el uso de productos nacionales o locales.
 - g. Aplicación de medidas ambientales restrictivas.
 - h. Discriminaciones fiscales.
 - i. Restricciones en la aceptación de capital o beneficios.
 - j. Entre otros.

METODOLOGÍAS EXPLORADAS PARA TOMA DE DECISIONES Y LA IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD APLICABLES A LOS FOSFATOS DE LA FORMACIÓN NAVAY

Debido a la amplia variedad de metodologías que actualmente se utilizan para tratar de facilitar la toma de decisiones en la búsqueda de gestiones empresariales más sustentables, se escogieron algunas de estas que según sus características permitieran ser aplicadas al caso de estudio. Las herramientas que se evaluaron para la búsqueda de identificación de indicadores de sustentabilidad fueron las siguientes: Ventana de Johari, la cual permite identificar elementos visibles o conocidos y los no visibles o no conocidos; Diagrama de Ishikawa o espina de pescado, que permite la identificaciones de causas a problemas; Diagramas de Alternativas, empleado para la distribución y gerencia en minas de los equipos de carga y acarreo y del Diagrama de Ciclo de Vida de un producto, que permite la visualización de las entradas y salidas en el procesamiento de un producto.

Ventana de Johari

La “Ventana de Johari” pretende ilustrar el proceso del “dar y recibir feedback”. Este esquema fue creado por Joseph Luft y Harry Ingham. El modelo puede ser presentado también como una ventana de comunicación a través de la cual se dan o se reciben informaciones sobre uno mismo y sobre los demás. La figura 3 nos muestra como está constituida la “Ventana de Johari”

El significado de cada cuadrante se explica en la siguiente parte:

1. **Área libre:** El primer cuadrante (espacio superior izquierdo) es el único claro y libre. El comportamiento es público y accesible a todos.
2. **Área ciega:** contiene informaciones respecto de nuestro “yo” que nosotros ignoramos, pero que son conocidas por los demás.
3. **Área oculta** (o privada): el área oculta para los demás, contiene informaciones que uno mismo sabe respecto de sí, pero que son desconocidas por el grupo.
4. **El área desconocida:** El cuadrante de la parte inferior derecha representa aquellos factores de nuestra personalidad de los que no somos conscientes y que también son desconocidos para las personas que se relacionan con nosotros.

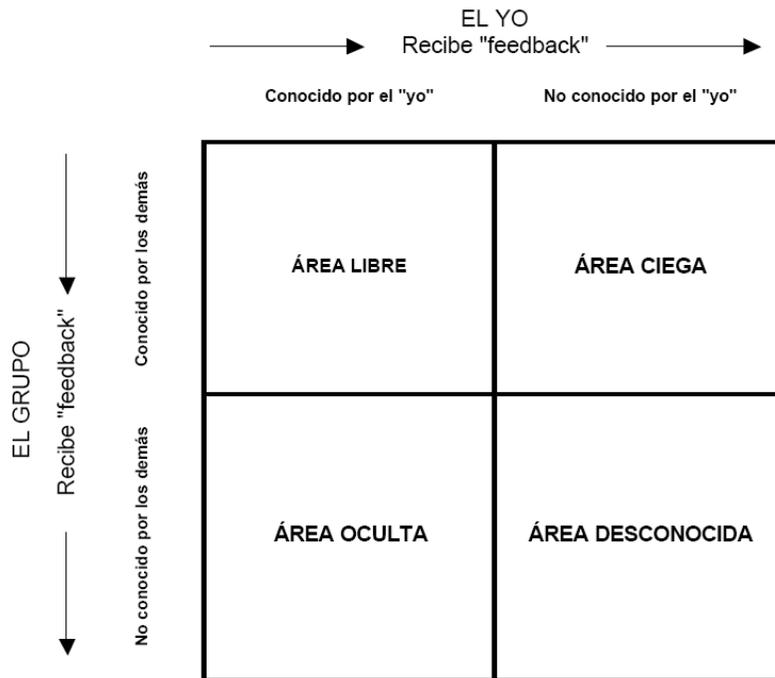


Figura 3: Ejemplo de Ventana de Johari

Debido a que la herramienta de la “Ventana de Johari” se utiliza en la exploración de la personalidad, se pensó podría aportar información que sirviera para visualizar indicadores sobre la base de lo que sabe y no sabe el investigador y los involucrados en la futura explotación minera. Sin embargo, los resultados no son muy simples de determinar y las circunstancias no están claras, por lo que se sugiere revisarla cuando este avanzado el proceso de explotación minera para identificación de indicadores de gestión.

Diagrama de Ishikawa o espina de pescado

El 'Diagrama de Ishikawa', también llamado diagrama de causa-efecto, es una de las diversas herramientas surgidas a lo largo del siglo XX en ámbitos de la industria y posteriormente en el de los servicios, para facilitar el análisis de problemas y sus soluciones en esferas como lo son; calidad de los procesos, los productos y servicios. Fue concebido por el ingeniero japonés Dr. Kaoru Ishikawa en el año 1943. Se trata de un diagrama que por su estructura ha venido a llamarse también: diagrama de espina de pescado, que consiste en una representación gráfica sencilla en la que puede verse de manera relacional una especie de espina central, que es una línea en el plano horizontal, representando el problema a analizar, que se escribe a su derecha como se muestra en la siguiente figura 4.

La primera parte de este diagrama muestra todos aquellos posibles factores que puedan estar originando alguno de los problemas que tenemos, la segunda fase luego de la tormenta de ideas es la ponderación o valoración de estos factores a fin de centralizarse específicamente sobre los problemas principales, esta ponderación puede realizarse ya sea por experiencia de quienes participan o por investigaciones in situ que sustenten el valor asignado.

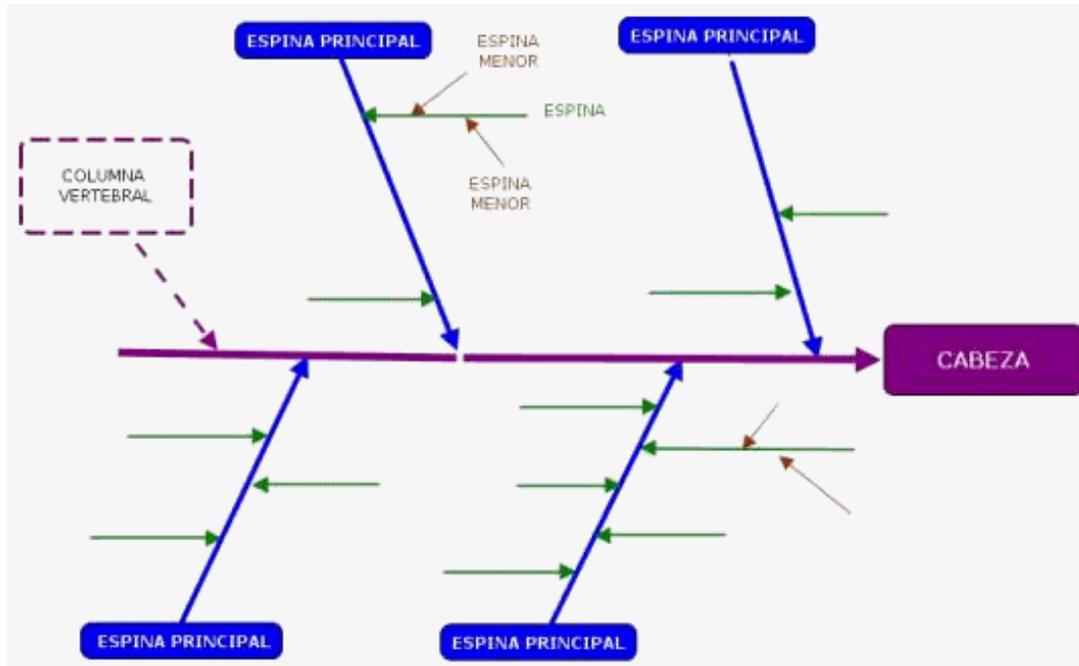


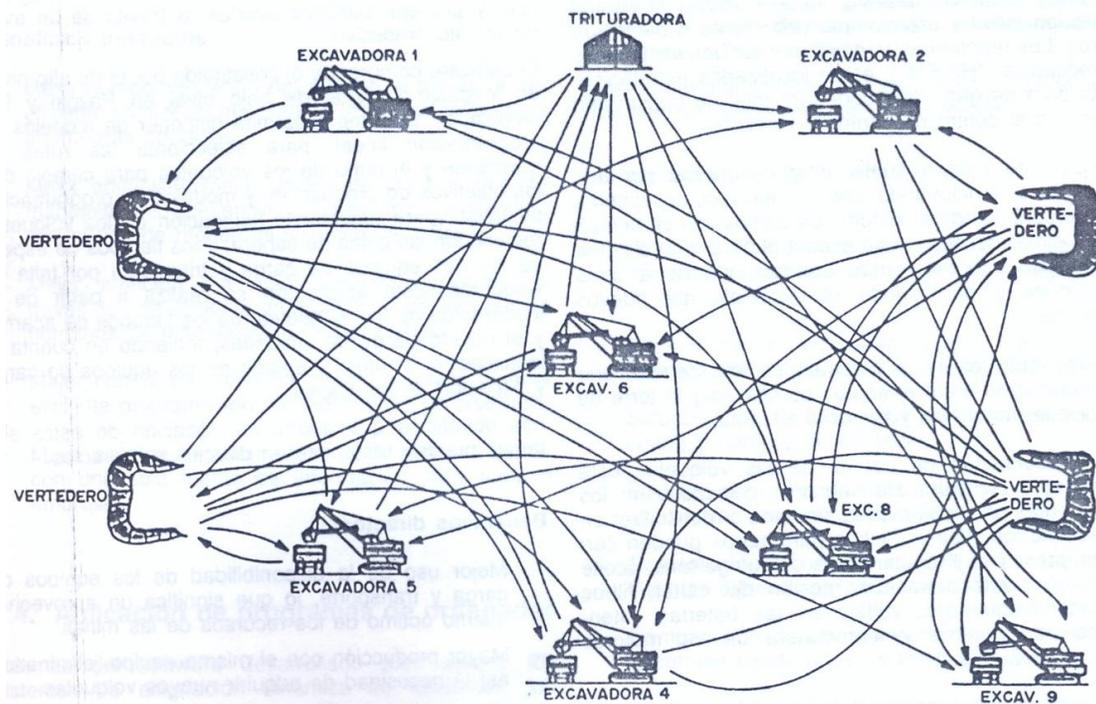
Figura 4: Ejemplo de Diagrama de Ishikawa

Diagrama de Alternativas (ITGE, 1995)

El Diagrama de Alternativas pretende representar todos los procesos o posibles procesos involucrados y hacer todas las combinaciones posibles, de modo de que este sirva como una herramienta en la toma de decisiones.

Esta herramienta se aplica para la asignación dinámica de camiones en operaciones mineras, con el objetivo de organizar la flota de transporte asignándoles su cometido al comienzo del relevo.

La introducción de los Sistemas de Asignación Dinámica de Camiones (ADC), también conocidos como Sistemas de Despacho (SD), está ampliamente documentada. Para representar la necesidad de usar estos sistemas, se dibujan las alternativas posibles de carga y transporte en una explotación minera. En la figura 5 se muestra un ejemplo muy ilustrativo de las alternativas de carga y transporte de la mina de cobre de Tyrone en Arizona.



**Figura 5: Alternativas de carga y acarreo de la mina de cobre de Tyrone en Arizona.
Tomado de ITGE, 1995**

Diagrama del Ciclo de Vida de un Producto

La norma internacional ISO 14001, define el Ciclo de Vida de un producto como el conjunto de “etapas consecutivas e inter relacionadas del sistema del producto desde la adquisición de las materias primas o generación de recursos naturales hasta su eliminación final”. Más avanzada e interesante resulta la idea del Análisis del Ciclo de Vida, (ACV), como “una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto: compilando un inventario de entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas de materia y energía, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio”.

La siguiente figura 6 muestra una forma de realizar un ciclo de vida para un producto:

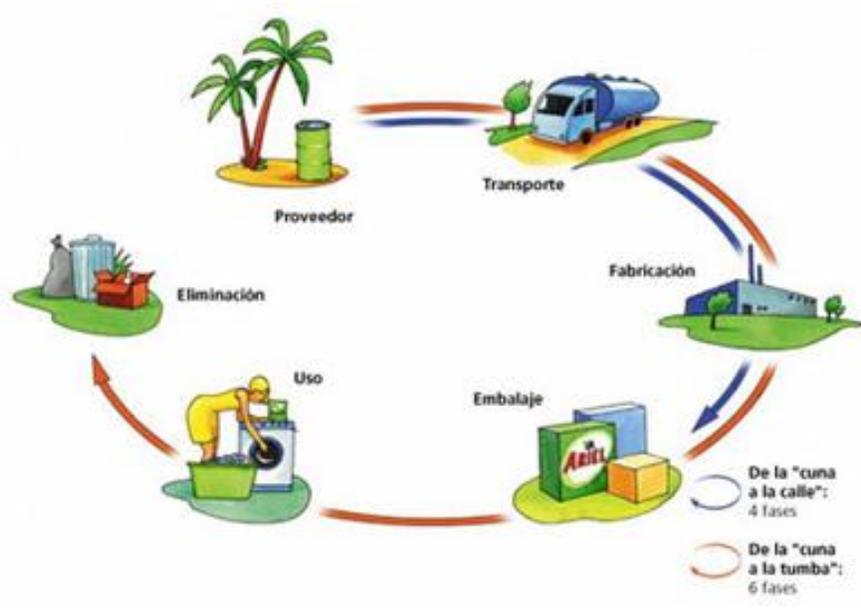


Figura 6: Ciclo de vida general para un producto. Tomado de la web de Proter & Gambler

CAPÍTULO III. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES QUE APORTAN RIESGO E INCERTIDUMBRE AL PROYECTO MINERO DE EXPLOTACIÓN DE FOSFATOS DE LA FORMACIÓN NAVAY

Ya en la sección del Marco Teórico se explican cuál es la importancia de reconocer e identificar las variables que pueden aportar riesgo e incertidumbre en proyectos mineros. Para el caso de los fosfatos de la Formación Navay, se consultaron una serie de informes técnicos hechos en la zona, cuya información se recopila y se clasifica de acuerdo a las condicionantes de dichas variables, dicho con otras palabras, cuál de estas variables serían internas y cuáles son externas al proyecto. En la próxima sección se hace el ejercicio de identificación de algunas de las variables más resaltantes, que aportan riesgo e incertidumbre al proyecto de fosfatos en la Formación Navay, en el estado Táchira.

IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES QUE APORTAN RIESGO E INCERTIDUMBRE AL PROYECTO DE EXPLOTACIÓN DE FOSFATOS EN LA FORMACIÓN NAVAY, ESTADO TÁCHIRA.

Las variables que aportan riesgo e incertidumbre a un proyecto minero son propias de la explotación, y lo que permiten estas es tener en consideración aquellos parámetros que pueden repercutir en la economía del proyecto, además de elaborar un sistema de gestión para establecer estrategias de actuación ante diversas situaciones (visión estratégica de escenarios).

Las fuentes de incertidumbre en un proyecto minero pueden venir de diferentes ámbitos: internos y externos a la explotación. Las fuentes internas son las propias e intrínsecas del yacimiento. Las fuentes externas tienen que ver con el mercado, entorno, sociedad, políticas, financiamiento, entre otros que no están directamente relacionadas con el yacimiento, pero que indudablemente pueden afectar el comienzo y desarrollo de la mina.

VARIABLES IDENTIFICADAS

En el siguiente cuadro 1 se muestran las variables que aportan riesgo e incertidumbre al proyecto de explotación de fosfatos en la Formación Navay, estado Táchira.

Cuadro 1: Variables identificadas en el proyecto de fosfatos en la Formación Navay, que aportan riesgo e incertidumbre.

<p><i>Vinculadas al yacimiento</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aguas subterráneas 2. Solubilidad de la mena o estéril 3. Distribución de los tenores 4. Comportamiento de las isocalidades. Distribución de las calidades de la mena 5. Distribución de los elementos traza 6. Continuidad lateral de la mineralización 7. Espesores de mena y estéril 8. Fallas y pliegues 9. Parámetros geomecánicos 10. Reservas y recursos
<p><i>Vinculadas a la explotación minera</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Método minero 2. Planificación de secuencia minera 3. Equipos mineros 4. Método de beneficio 5. Diseño y disposición de estériles 6. Diseño y disposición de lodos de beneficio mineral 7. Relación de remoción 8. Clase de inversiones mineras 9. Disponibilidades de equipos y uso de la disponibilidad 10. Planificación, diseño y ejecución de voladuras
<p><i>Vinculadas al mercado y al contexto exterior</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Legislación 2. Impuestos 3. Inflación interna y externa 4. Cambio de uso del territorio 5. Aceptación e impacto social 6. Financiamiento 7. Mercado (Distribución de la oferta y la demanda, Establecimiento del precio de venta) 8. Uso del producto obtenido 9. Relaciones internacionales 10. Escasez de repuestos 11. Disponibilidad de equipos internacionalmente con los fabricantes

CONDICIONES Y CONDICIONANTES DE LOS PROCESOS MINEROS, QUE PUEDEN LLEGAR A SER CONSIDERADAS COMO VARIABLES DE RIESGO

En las operaciones de arranque:

- ***Factores geomecánicos, de geología estructural y hidrogeología.***
 - Presencia de zonas de fallas. Las zonas de fallas pueden constituirse como un problema, si comprometen la estabilidad de las paredes de subniveles y taludes finales o temporales. En el caso de arranque con perforación y voladura, habrá que considerar la pérdida de energía de aquellos barrenos que se encuentren cercanos o dentro del área de influencia de la falla. Esto además puede constituirse en un problema, si produce sobretamaños en otros lados. Hay que considerar en futuros diseños para perforación, salvar una distancia de las fallas para evitar estas pérdidas energéticas.
 - Los pliegues también, pueden constituir un problema a la hora del arranque. Generalmente los pliegues están asociados a sistemas de fallas, quienes deben ser cartografiadas, pues estas estructuras pueden hacer variar la calidad de la mena y además, ser condicionantes del ritmo de producción.
 - La dureza de la roca (estéril o mena), será condición necesaria para determinar el o los equipos necesarios para llevarlo a cabo. Si la roca permite la excavación, podrá ser arrancada con tractor de orugas y escarificador. La roca meteorizada friable y los suelos son las condiciones más favorables para el uso del tractor de orugas, esto sin considerar la presencia de agua, quien si está presente, puede dificultar las operaciones. Si por el contrario, la roca no permite la excavación y hace falta el arranque con perforación y voladura, habrá que considerarse los niveles freáticos que se han mencionado en el resumen anterior. El problema del agua en frentes de perforación, es que ésta puede afectar de manera significativa la estabilidad del explosivo usado, como es el caso del ANFO. En Venezuela, el ANFO es un explosivo ampliamente utilizado en minería a cielo abierto, con los fines de arranque de material, aunque no es el único, es sin duda el más económico comparado con la emulsión, magnafrag, entre otros. El mayor inconveniente de esto, primero sería la velocidad de recarga de las aguas freáticas, de las cuales habrá que hacer pruebas de permeabilidad (ensayos en campo, Ley de Darcy) y porosidad (secciones finas), trayendo como consecuencia la necesidad de achicar los barrenos antes de ser cargados (en el supuesto que la velocidad de recarga del acuífero no sea tan rápida tomándose como referencia el tiempo necesario para cargar la

totalidad de los barrenos), limitando el número de barrenos que efectivamente se puedan volar con ANFO.

En las operaciones de carga y acarreo:

- ***Factores geomecánicos y de geología estructural.***
 - Pueden verse comprometida la estabilidad de las paredes finales y taludes finales, por fallas y pliegues.
 - Las fallas y pliegues pueden causar en el uso de voladura, pérdidas de energía que pueden traer como consecuencia sobretamaños o *sobretrituration* en algunas zonas.
 - Las capas se encuentran con cierta inclinación, lo cual puede constituir un inconveniente solventable a la hora de la explotación, pues pueden considerarse más de una alternativa de carga con las condiciones geológicas dadas. En todo caso, un inconveniente a la hora de planificar la explotación viene dado por el grado de certeza geológica planteado en el modelo geológico.

- ***Factores hidrogeológicos.***
 - Al profundizar, cortar los niveles freáticos, constituirá un problema, sobre todo en la época de lluvia, pues los frentes de trabajo permanecerán por más tiempo con agua, requiriendo el manejo de aguas de mina por medio de bombeo. Estas aguas no pueden disponerse en los cuerpos de agua naturales, pues vienen cargadas de particulado en suspensión, que puede afectar los ecosistemas y la vida de los poblados que se encuentren aguas abajo. Para ello se deben construir lagunas de sedimentación que puedan garantizar el decantado de las partículas, además de llevar un control químico que garantice que el líquido se encuentre dentro de la normativa vigente (Decreto 883, referencia ver anexo A).
 - La canalización de las aguas de escorrentía, de lluvias y freáticas, por medio del diseño de canales, drenes, alcantarillas, lagunas de sedimentación y sumideros para bombeo, se hacen necesarias para el manejo de agua durante toda la vida de la mina, durante todo el año y sobre todo en el período de lluvias de mayo a octubre.

- ***Factores operacionales.***

- Control de polvo en mina, sobre todo en los meses secos de noviembre a abril.
- Mantenimiento de las vías de acarreo y entradas de las escombreras, con motoniveladora. Este mantenimiento preventivo, constituye parte importante de las operaciones, pues previene el desgaste innecesario de los cauchos o llantas de los camiones (pues hay que considerar la escasez de cauchos para camiones mineros que se mantiene en el mundo desde el año 1996 y que no parece tener una solución rápida al corto plazo) y alarga la vida útil de los mismos lo más posible.

- ***Planificación de cierre de mina***

- Desarrollo de escombrera para almacenamiento de capa vegetal.
- Desarrollo de viveros para la siembra de especies vegetales para la recuperación progresiva de las áreas intervenidas. La planificación con miras al cierre de mina, debe hacerse de forma progresiva y paralela a la explotación minera.

En las operaciones de beneficio de la mena:

- ***Factores operacionales***

- Control de aguas de procesos de flotación.
- Manejo de los químicos para el proceso de flotación.
- Control de polvo.

En las operaciones de desarrollo, construcción de escombreras y/o pilas de material mineral no conforme

Las pilas de material mineral no conforme, puede ser aquel que tenga la posibilidad de beneficio de forma económicamente rentable, teniendo en cuenta los avances de las tecnologías actuales.

Aquel material, que aun teniendo contenido de fosfatos que no puede ser procesado rentablemente, será considerado estéril. El estéril debe ser colocado en espacios establecidos para éstos (escombreras), Los cuales deben ser diseñados con parámetros geomecánicos que garanticen su estabilidad, que proporcionen las condiciones necesarias para su recuperación y que permitan el drenaje de las aguas de escorrentía e infiltración.

Para este trabajo consideraremos necesario que los criterios de almacenamiento de material no conforme (si lo hubiere) y el estéril, se hagan de modo similar, para evitar tener material almacenado de manera aleatoria que dificulte el manejo de sedimentos a los cursos de aguas naturales.

- ***Factores geomecánicos***

- Altura de los niveles, ángulo de reposo, cohesión – fricción.
- Control de agua de infiltración y escorrentías. Canalización de las mismas. Construcción de drenes al comienzo de la misma para garantizar el manejo adecuado de las aguas de infiltración.
- Diseño de construcción de la escombrera.

- ***Factores operacionales***

- Mantenimiento de vialidades con motoniveladora o tractor. Alivio de frentes de bote (con tractor de orugas). Garantizar los botaderos o frentes de bote, cuidando el avance de escombrera según diseño.
- Evitar construir la escombrera sobre drenajes o tributarios intermitentes. Los drenajes de las escombreras deben construirse obligatoriamente para garantizar el drenaje y manejo de las aguas de infiltración y escorrentía.
- Control de polvo en las vías y niveles.

CAPÍTULO IV. APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD

METODOLOGÍA PARA LA TOMA DE DECISIONES. POSIBILIDADES DE ANÁLISIS

En esta parte se emplearon varias metodologías para hallar los indicadores de sustentabilidad aplicables a la explotación de fosfatos, una vez identificadas las variables que aportan riesgo e incertidumbre al proyecto minero de fosfato en la Formación Navay. Las metodologías exploradas fueron: Ventana de Johari, Diagrama de Ishikawa (espina de pescado), Diagrama de Alternativas y Grafico de Ciclo de Vida. El primero no dio los resultados esperados, el segundo permitió visualizar los requerimientos para llegar al objetivo planteado. Los dos últimos fueron de gran utilidad para visualizar a partir del diagrama de espina de pescado realizado, primero las combinaciones posibles de las operaciones unitarias y luego un diagrama de ciclo de vida, para obtener las entradas y salidas de los procesos mineros implicados.

GRAFICO DE COMBINACIONES DE EQUIPOS EN OPERACIONES UNITARIAS EN MINERÍA DE FOSFATOS

En la siguiente parte se hace un bosquejo (figura 7) de las operaciones unitarias posibles en explotación de fosfatos en la Formación Navay, estado Táchira, con combinación de equipos para cada etapa.

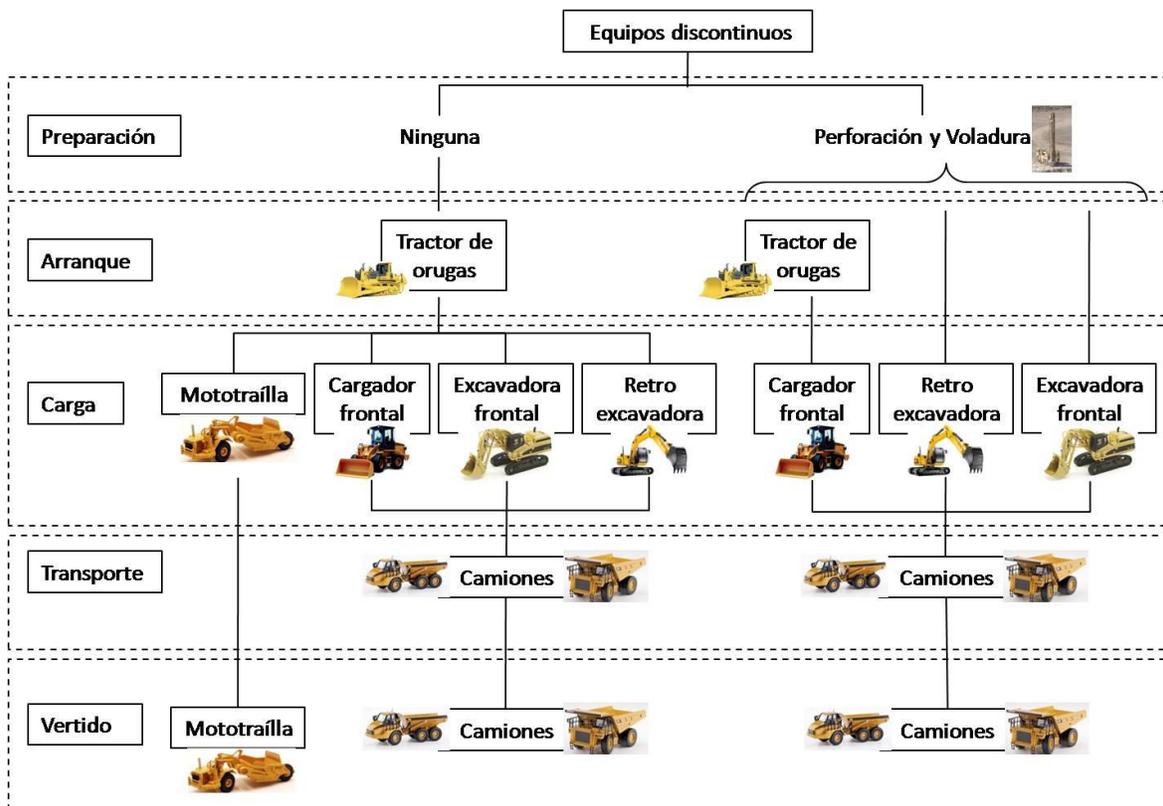


Figura 7: Posibles combinaciones de equipos en operaciones unitarias para minería de fosfatos en la Formación Navay, estado Táchira

DIAGRAMAS DE ISHIKAWA APLICADOS A LA PRODUCCIÓN (OPERACIONES MINERAS) Y AL PROCESO DE BENEFICIO DE FOSFATOS.

A los efectos de la aplicación de estos diagramas en la toma de decisiones, se han separado las operaciones de producción (las operaciones unitarias: deforestación, arranque – perforación y voladura–, carga y acarreo) y de las operaciones del beneficio de minerales (proceso de beneficio de fosfatos).

Diagrama aplicado a la producción de fosfatos

En el diagrama de la figura 8 se toma en cuenta solo las operaciones de producción del mineral de fosfato, en el entendido que estas no incluyen las operaciones de beneficio de minerales.

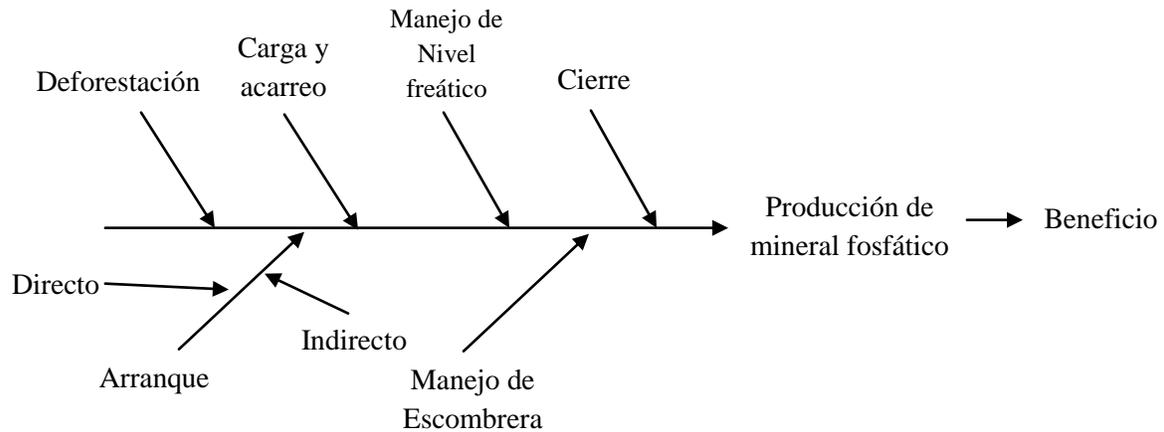


Figura 8: Diagrama de espina de pescado aplicada a las operaciones unitarias de producción de mineral fosfático

Diagrama aplicado al beneficio de fosfatos

El diagrama de espina de pescado aplicado al beneficio de fosfatos, contempla en cambio los aspectos que pueden causar problemas con el método de beneficio. En la figura 9 se puede observar el diagrama aplicado a las operaciones de beneficio mineral de fosfato.

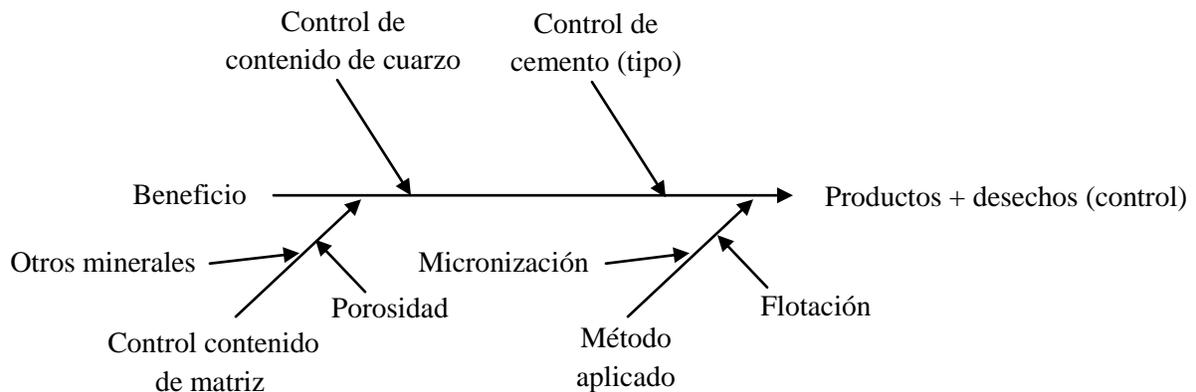


Figura 9: Diagrama de espina de pescado aplicada a las operaciones de beneficio del mineral fosfático

ASPECTOS CRÍTICOS DETECTADOS

Después de hacer una identificación de los principales componentes de las operaciones de producción y beneficio de minerales, se mencionan algunos aspectos críticos detectados, los cuales serán estudiados con mayor profundidad en los tres primeros objetivos del Proyecto de Tesis de Maestría. Estos se nombran a continuación:

- ✓ Cuarzo en la mena: uso (fertilizantes o elaboración de productos para la industria de alimentos para animales y consumo humano).
- ✓ Contenido de uranio: relación con materia orgánica en la génesis del yacimiento (construcción de escombrera y manejo de desechos del beneficio de la mena).
- ✓ Solubilidad del estéril y la mena: presencia de aguas subterráneas.
- ✓ Beneficio: composición de la matriz, relacionado con el grado de liberación.
- ✓ Beneficio: composición del cemento, relacionado con mayor dificultad de liberación.
- ✓ Fosfato: no es soluble en agua, por eso la necesidad de beneficiarlo.
- ✓ Desechos del método de beneficio: contenido de cuarzo.

A continuación se explica la necesidad de aplicar la metodología del Diagrama de Alternativas de posibles combinaciones de destinos, en las distintas operaciones unitarias que se pueden llevar a cabo en explotación minera de fosfatos en el estado Táchira.

DIAGRAMA DE ALTERNATIVAS DE POSIBLES COMBINACIONES DE OPERACIONES UNITARIAS EN MINERÍA DE FOSFATOS

El Diagrama de Alternativas pretende mostrar de manera gráfica las posibles combinaciones y de alternativas, que se pueden dar en las operaciones unitarias en minería a cielo abierto de fosfatos en el estado Táchira. Esta herramienta es utilizada en operaciones mineras para distribuir adecuada y óptima los equipos, sobre todo en el arranque, carga y acarreo. La figura 10 representa todas las combinaciones posibles conocidas para las operaciones unitarias en la propuesta de minería de fosfatos en la Formación Navay, en el estado Táchira.

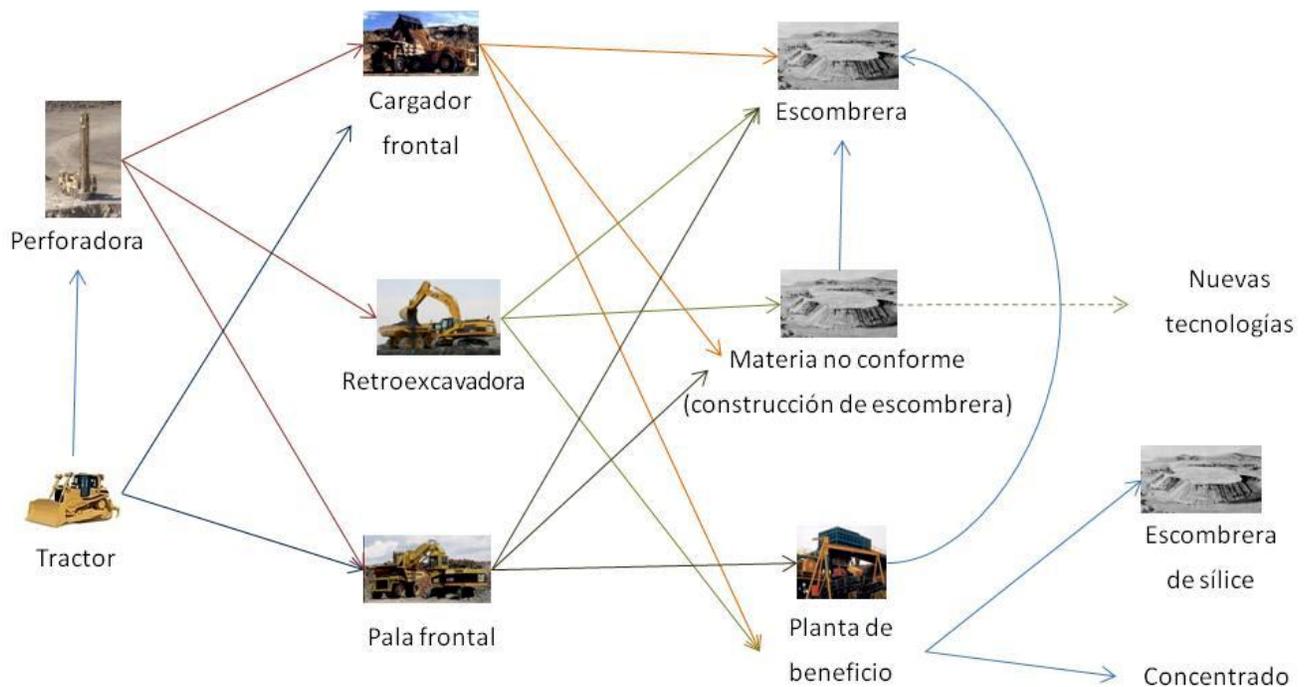


Figura 10: Diagrama de Alternativas aplicada a las operaciones unitarias de producción en minería de fosfatos

DIAGRAMA DEL CICLO DE VIDA DE UN PRODUCTO APLICADO A LA EXPLOTACIÓN DE FOSFATOS

Una de las ventajas de la aplicación del Diagrama del Ciclo de Vida para las operaciones unitarias en minería de fosfatos, es que podemos una vez identificada la cadena productiva, establecer las entradas o inputs y las salidas u outputs. Con esta información podemos reunir datos acerca de las afectaciones y los ámbitos, así como tomar decisiones para su mitigación y control durante la vida de la mina, con miras al Cierre de Mina. En la siguiente figura 11 se hace el ejercicio para el ciclo de vida de la explotación de fosfatos hasta el producto final luego del beneficio de minerales.

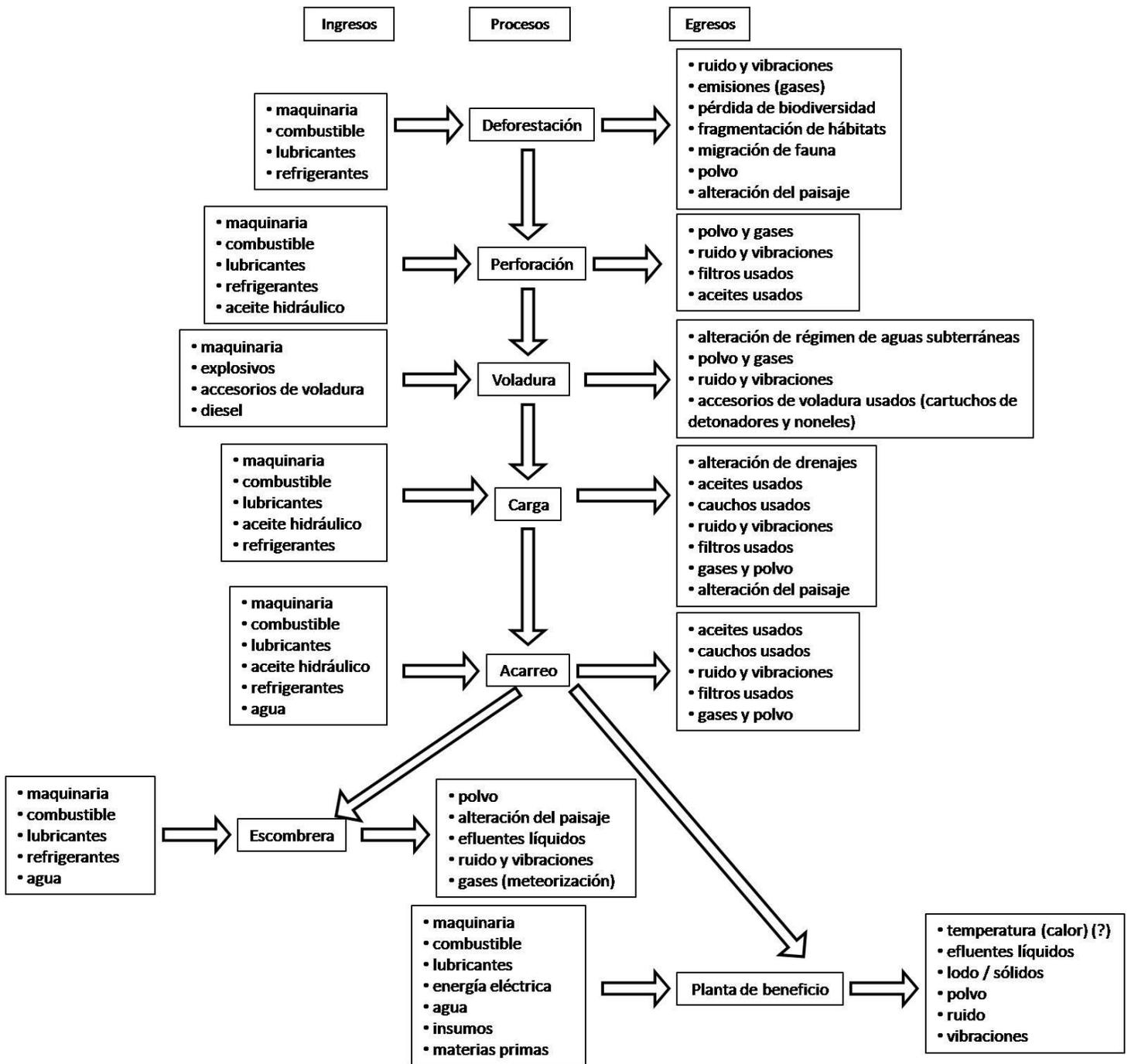


Figura 11: Ciclo de Vida de las operaciones involucradas en la producción de fosfatos

OTRAS HERRAMIENTAS APLICADAS

Una vez establecidas las entradas y salidas en cada parte de la operación unitaria mencionada anteriormente, buscamos ver cuáles son los componentes perturbados por los egresos. Por ello en el cuadro 2 se muestra según las salidas señaladas, el componente físico-natural biológico afectado por cada egreso:

Cuadro 2: Egresos por proceso y componente físico-biológico-social afectado

Proceso	Egresos (<i>output</i>)	Componente afectado
<i>Deforestación</i>	Ruido y vibraciones Gases. Pérdida de biodiversidad Fragmentación de hábitats Migración de fauna Polvo Alteración del paisaje	Atmósfera / suelo - biológico Atmósfera Biológico Biológico Biológico Atmósfera Agua - drenajes
<i>Perforación</i>	Polvo y gases Ruido y vibraciones Filtros usados Aceites usados	Atmósfera Atmósfera Suelo Suelo – agua
<i>Voladura</i>	Alteración del régimen de aguas subterráneas Polvo y gases Ruido y vibraciones Accesorios de voladura usados (cartuchos de detonadores y noneles)	Agua Atmósfera Atmósfera / suelo – biológico – social Atmósfera Suelos
<i>Carga</i>	Alteración de drenajes Aceite usado Cauchos usados Ruido y vibraciones Filtros usados Gases y polvo Alteración del paisaje	Agua Suelos – agua Suelos – agua Atmósfera Suelos – agua Atmósfera Abióticos – biológicos – social
<i>Acarreo</i>	Aceites usados Cauchos usados Ruidos y vibraciones Filtros usados Gases y polvos	Suelos – agua Suelos – agua Atmósfera / suelo Suelos – agua Atmósfera
<i>Escombrera</i>	Polvo Alteración del paisaje Efluentes líquidos / lixiviados Ruido y vibraciones Gases (alteración química del estéril)	Atmósfera Abióticos – biológicos – social Suelos – agua Atmósfera Atmósfera
<i>Planta de beneficio</i>	Temperatura (calor) Efluentes líquidos Lodo / sólidos Polvo Ruido Vibraciones	Atmósfera Suelos – agua Suelos – agua Atmósfera Atmósfera Atmósfera

En el próximo cuadro 3 se puede estimar un inventario aproximado de productos y el medio que puede resultar afectado:

Cuadro 3: Proceso y forma de afectación a los diferentes medios socio - naturales

Proceso en el ciclo de vida	Materiales utilizados	Medio sólido / suelo	Medio líquido / agua	Medio gaseoso / atmosférico	Medio social - biológico
<i>Deforestación</i>	Maquinaria. Combustible. Lubricantes. Refrigerantes.	Polvo.	Aceites usados.	Gases. Polvo.	Pérdida de biodiversidad. Fragmentación de hábitats. Migración de fauna. Ruido. Vibraciones.
<i>Perforación</i>	Maquinaria. Combustible. Lubricantes. Refrigerantes. Hidráulico.	Polvo. Filtros usados.	Aceites usados.	Gases.	Ruido. Vibraciones.
<i>Voladura</i>	Maquinaria. Explosivos. Accesorios de voladura. Diesel.	Polvo. Accesorios de voladura usados.		Gases.	Ruido. Vibraciones. Afectación de régimen de aguas subterráneas.
<i>Carga</i>	Maquinaria. Combustible. Lubricantes. Refrigerantes. Hidráulico.	Cauchos usados. Filtros usados.	Aceites usados.	Gases.	Ruido. Vibraciones. Alteración del paisaje.
<i>Acarreo</i>	Maquinaria. Combustible. Lubricantes. Refrigerantes. Hidráulico. Agua.	Cauchos usados. Filtros usados.	Aceites usados.	Gases. Polvo.	Ruido. Vibraciones.
<i>Escombrera</i>	Maquinaria. Combustible. Lubricantes. Refrigerantes. Agua.	Polvo.	Efluentes líquidos.	Gases (meteorización). Polvo.	Alteración del paisaje. Ruido. Vibraciones.
<i>Planta de beneficio</i>	Maquinaria. Combustible. Lubricantes. Energía eléctrica. Agua. Insumos. Materias primas.	Lodos. Sólidos. Polvo decantado.	Efluentes líquidos.	Temperatura. Polvo.	Ruido. Vibraciones. Percepción pública: minerales de uranio.

Para visualizar de una manera más específica las afectaciones de los procesos sobre los medios: agua, suelo, atmósfera, biológico y social, se muestran sendos esquemas (figuras 12 a la 15), en el que se observan la forma de la afectación.

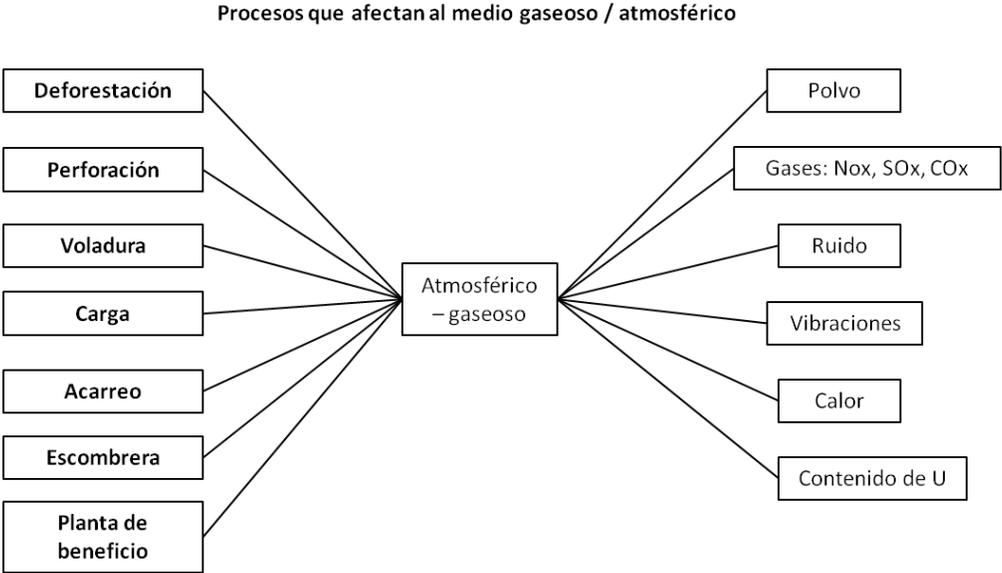


Figura 12: Procesos que afectan al medio gaseoso / atmosférico

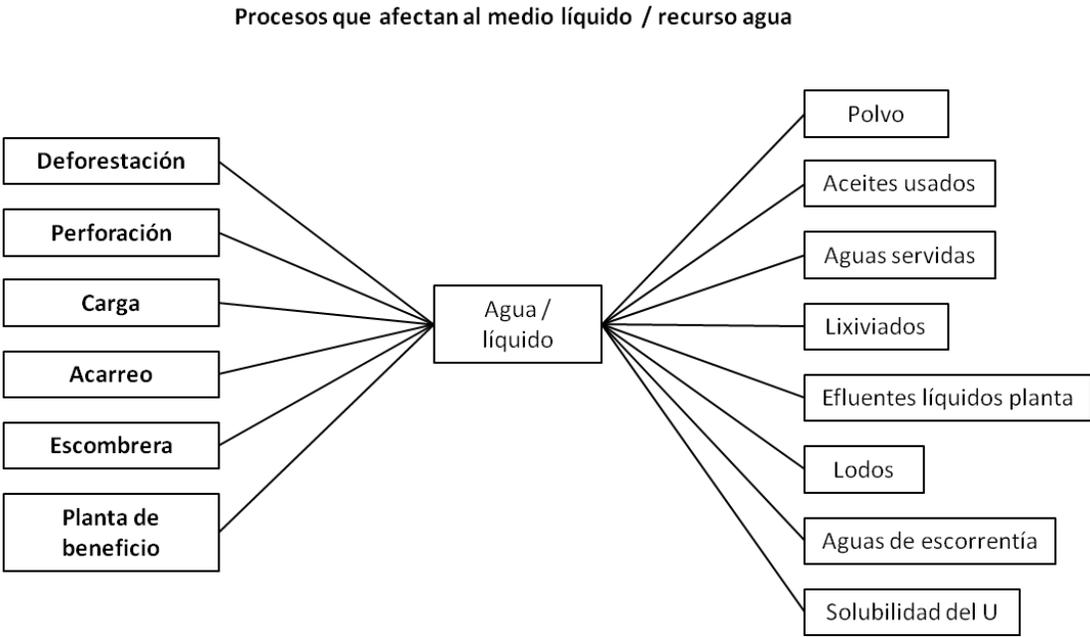


Figura 13: Procesos que afectan al medio líquido / recurso agua

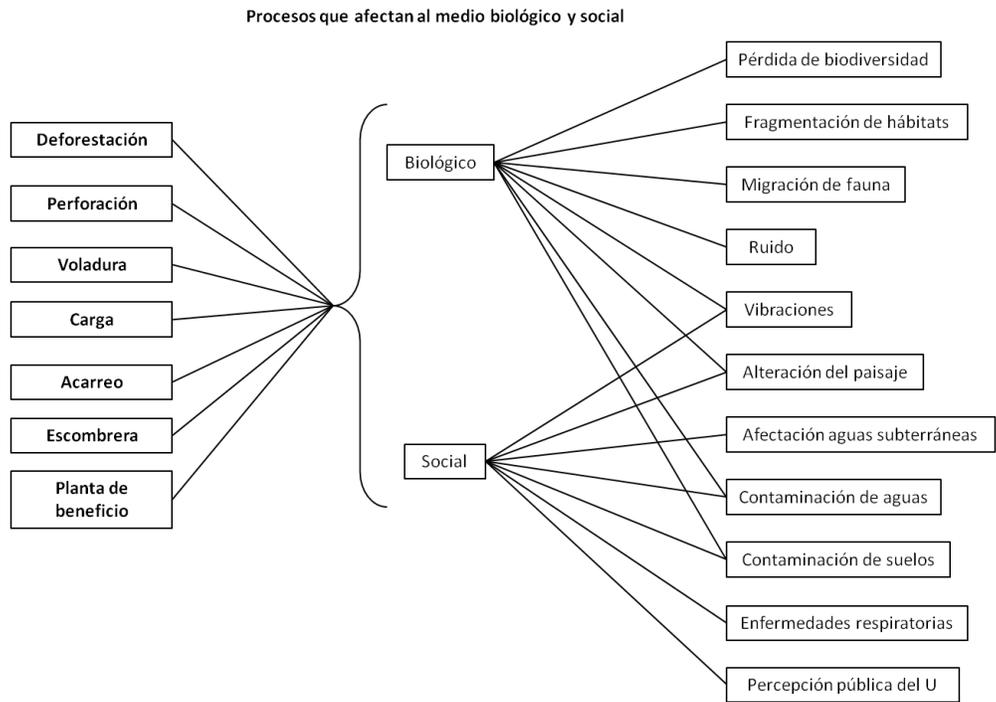


Figura 14: Procesos que afectan al biológico y social

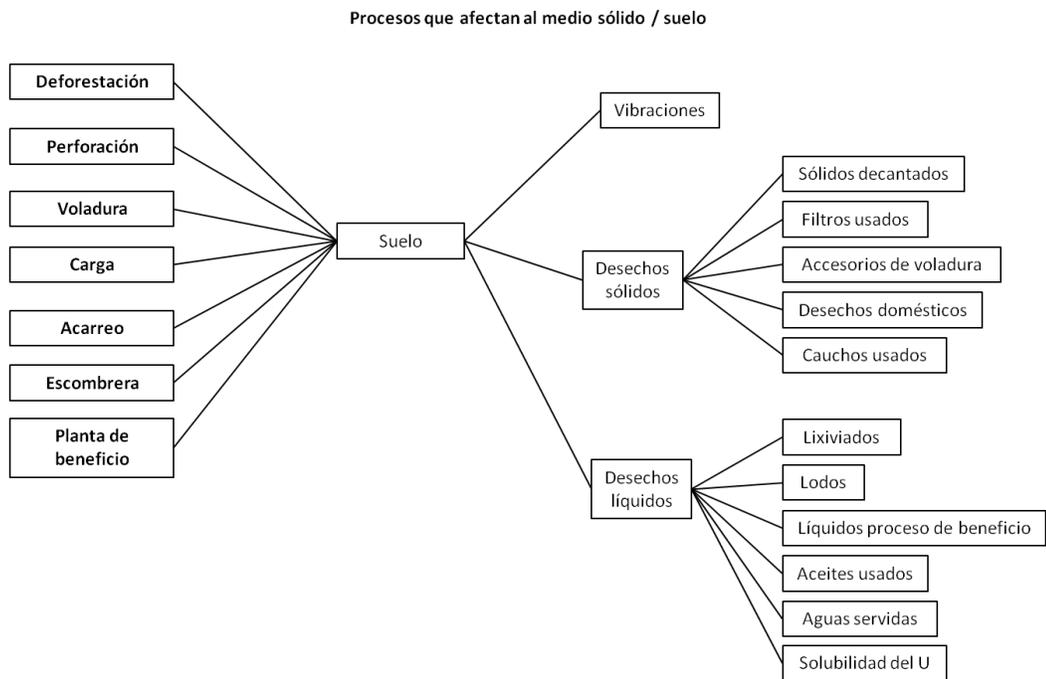


Figura 15: Procesos que afectan al medio sólido / suelo

Para resumir la información recolectada con miras a la gestión integral y sustentable de la explotación, se clasifican las variables en observables, no observables, controlables y no controlables. En la figura 16 pueden observarse las variables reconocidas y clasificadas según sus características. La misma permite tomar decisiones de cuáles son las variables a las que podemos medir y aplicar medidas mitigantes.

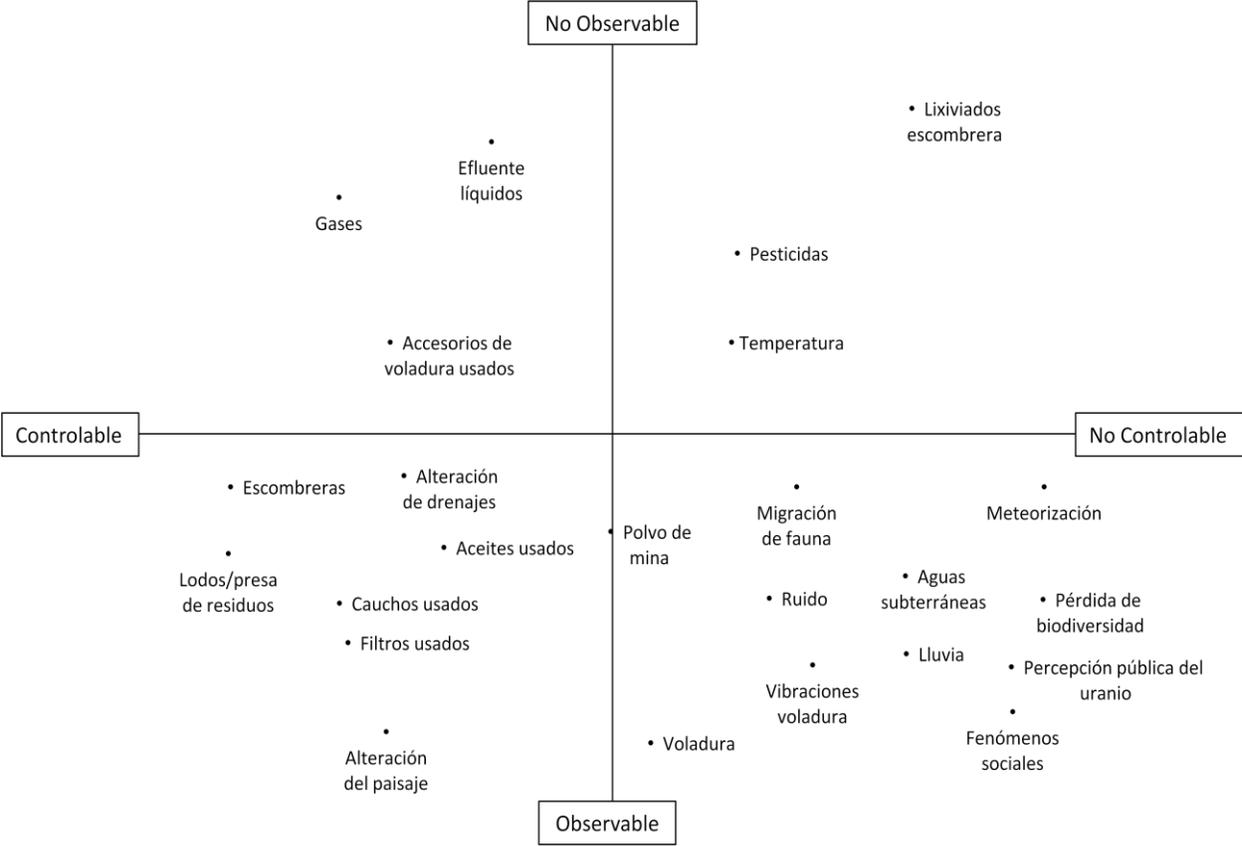


Figura 16: Localización del riesgo en el “Espacio del riesgo”. Los ejes muestran en qué grado las variables de riesgo son controlables y observables. Tomado de Graedel y Allenby (1995), con datos identificados en este seminario de investigación. Elaboración propia

Con la sistematización de la información y el reconocimiento de las variables, concentramos las acciones de gestión en aquellas que podemos medir, controlar y observar. No con esto queremos decir que debemos olvidar las demás variables, por el contrario es necesario complementar la información disponible, con aquella que iremos descubriendo a

medida que vayamos avanzando en la explotación, pues estas nos garantizaran ir planificando de manera efectiva y progresiva al desarrollo minero, el cierre de mina.

Una de las variables más interesantes es la percepción pública del uranio contenido en la mena de fosfato, debido a la diversa información de la formación es un indicador que debemos considerar a la hora de controlar el polvo en mina y en la planta de beneficio, así como, en el diseño y construcción de la escombrera.

El uranio es un elemento que se encuentra en las menas de fosfatos de origen sedimentario y está relacionado con la génesis del yacimiento. Muchos de los estudios de fosfatos realizados en la Formación Navay mencionan a este elemento en el nombre dado a las rocas estudiadas (Cárdenas (1984 y 1979), Peñalosa y Useche (1981) y Carmona (1955)). Vale la acotación que, muchos de estos estudios fueron realizados con financiamiento de la Oficina Nacional de Energía Atómica (CONAN o CONADIN, como se le llamó posteriormente en 1983) y se centraron en resaltar más el contenido de uranio que el de fosfatos en las menas descritas, como se pudo constatar en el trabajo de Cárdenas y Suárez (1986).

Debido a que el uranio es un elemento radiactivo natural (ver anexo C), la presencia de este puede generar inquietudes en las poblaciones cercanas y generar una percepción pública negativa hacia la explotación minera. Se sabe que el uranio natural puede ser movilizado por diversos procesos naturales o actividades humanas, siendo una de las más importantes la minería (ATSDR, 1999).

La información disponible en la web (Tinoco, 2008) explica que el tenor de corte o tenor mínimo de uranio es de 100ppm de U_3O_8 , la cual comparamos con los informes mencionados en los párrafos anteriores (relacionados con los fosfatos de la Formación Navay) y encontramos que algunos como el de Cárdenas (1984) reportan dichas concentraciones de U_3O_8 en el rango de 50 a 100 ppm, mientras que Cárdenas y Suárez (1986) trataron menas que tenían en promedio unos 262,27 ppm de U_3O_8 . Considerando estas diferencias, creemos que este factor de la percepción pública en la explotación cobrará importancia una vez que se comiencen las fases posteriores a la exploración, y aun más cuando, toda la información citada en este trabajo se encuentra disponible y accesible al público en general en la web y en las bibliotecas del país.

Afectaciones identificadas para minería de fosfatos en Navay

Para esto el cuadro 4 nos resume de manera simple, reconociendo el medio afectado y el tipo de fuente causante de la afectación, una forma o formas de medida mitigante.

Cuadro 4: Resumen de recomendaciones y medidas mitigantes a las afectaciones identificadas para minería de fosfatos

Medio afectado	Tipos de fuentes	Medida mitigante
<i>Agua</i>	Fija: Escombrera(s) Planta de beneficio Taller mecánico	Construcción de drenajes Planta de tratamiento – monitoreo Planta de tratamiento – monitoreo
<i>Aire</i>	Fija: Planta de beneficio Escombrera	Control de polvo – filtros Control de polvo – riego en vías de acarreo
	Móvil: Equipos mineros Voladura	Filtros para polvo – riego en vías Control de carga de los barrenos y diseño de patrones de voladura
<i>Suelo</i>	Fija: Desechos domésticos Estéril (escombrera) Presa de residuos	Recolección y tratamiento de lixiviados Diseño y construcción de drenajes Diseño y construcción con factores de seguridad adecuados
	Móvil: Fugas de aceites	Recuperación del suelo afectado y tratamiento adecuado
<i>Paisaje</i>	Fija: Dinámica – Escombrera(s)	Diseño de escombreras con integración paisajística
	Móvil: Explotación minera	Recuperación progresiva de niveles cerrados
<i>Biológico</i>	Fija: Escombrera(s)	Recuperación de niveles cerrados Construcción de viveros con planta autóctonas Apoyo a las universidades para fomentar la investigación y desarrollo para la efectiva reforestación de las áreas intervenidas
	Móvil: Deforestación Avance de mina	Depósitos adecuados y controlados de capa vegetal

Para complementar la información del cuadro anterior se ha elaborado otro (cuadro 5) con la legislación y normativa correspondiente al medio afectado, con miras a la aplicación de un sistema de gestión ambiental.

Cuadro 5: Cuadro de componente perturbado, forma de afectación y legislación aplicable al caso particular

Componentes afectados	Formas de afectación	Legislación y normativa aplicable
<i>Biológico</i>	Pérdida de biodiversidad Fragmentación de hábitats Migración de fauna	Ley Aprobatoria del Convenio sobre la Diversidad Biológica Ley de Diversidad Biológica Decreto 2219
<i>Agua</i>	Aguas aceitosas Lixiviados Afectación de aguas subterráneas Aguas servidas de uso doméstico	Decreto 883. Ley No.55 sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos Decreto 883 Decreto 883 Decreto 883
<i>Atmosférico</i>	Ruidos y vibraciones Temperatura Polvo Gases	Decreto 638 Decreto 638 Decreto 638 Decreto 638 + Decreto 2673
<i>Suelo</i>	Alteración del paisaje Lodos de beneficio Desechos domésticos	Decreto 2226 Ley Forestal de Suelos y Aguas Ley No. 55 sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos Ley de Residuos y Desechos Sólidos
<i>Social</i>	Polvo/afectaciones a la salud Cambio en el uso del territorio Calidad de vida Percepción pública	Decreto 638 Constitución Nacional/Ley de Ordenamiento del Territorio (LOT) Constitución Nacional Constitución Nacional

Las leyes y decretos se encuentran descritos en el anexo A, en este se muestran los datos relevantes de sus objetivos, Gaceta Oficial y fecha de promulgación. Esta información es de importancia en la implementación de un Plan de Gestión Ambiental por parte de la empresa y en el establecimiento de las políticas ambientales dentro de la misma.

INFORMACIÓN NECESARIA PARA DISMINUIR EL RIESGO E INCERTIDUMBRE PARA ALGUNAS VARIABLES INTERNAS, RELACIONADAS CON EL YACIMIENTO Y LA EXPLOTACIÓN MINERA

Mucha información hará falta sin duda para disminuir a la mínima expresión aquellas variables que puedan causar riesgo al proyecto. Algunas de las identificadas en este trabajo se mencionan a continuación, considerando que éste no ha sido totalmente exhaustivo y apoyándose en el razonamiento esbozado anteriormente, donde se exponen las razones para la consideración de las mismas como variables o indicadores de importancia para la gestión de minería de fosfatos en el estado Táchira, Formación Navay.

Las siguientes es la información necesaria que corresponde a variables internas que afectan a otras variables internas y externas de este proyecto minero, que permitirán disminuir la incertidumbre en dichas variables y la toma de decisiones:

- Modelo estratigráfico. Columna estratigráfica tipo. Insumo para el modelo geológico y para control de la explotación minera.
- Localización y cartografía de fallas y pliegues. Elaboración de un mapa geológico estructural. Esta información es importante para la planificación de la secuencia minera.
- Pruebas de permeabilidad (Ley de Darcy). Medición del tiempo de recarga de los acuíferos y nivel freático natural, determinación de la cota de agua subterránea. El diseño adecuado de los sistemas de bombeo depende de la información topográfica y de nivel freático.
- Elaboración y análisis de secciones finas: porosidad, cemento y minerales. Información de importancia para el beneficio de minerales.
- Pruebas de composición química del agua, para determinar línea base para aguas subterráneas y aguas superficiales. Estos pueden llegar a convertirse en indicadores de sustentabilidad.
- Modelo geológico completo. Composición química, mineralogía, geoquímica y distribución de las especies químicas, geología estructural.
- Pruebas de geo-mecánica. Ángulo de reposo. Factor de seguridad en macizos rocosos (mina) y para materiales sueltos (escombreras). El diseño de las escombreras es importante en el control de sedimentos, obras para el control de aguas de escorrentía y lixiviados, así como la planificación de la recuperación, restauración y reforestación.
- Estudio de mercado. Para determinar la calidad y la cantidad de producto a comercializar, aunque se trate de una demanda interna que podemos predecir sea satisfactoria. Esta información se hace realmente importante si además de atender un solo sector del mercado, podemos atender a más de uno y diversificar los

productos. Las variables oferta y demanda serán relevantes a la hora de realizar la planificación de mina y de las secuencias de explotación.

- Uranio: corroborar la información expuesta por Cárdenas y Suárez (1986) puesto que esta determinará la presencia o ausencia de argumentos para establecer negociaciones, en casos que existan cuestionamientos acerca de la percepción del uranio en las menas a explotar. Se requieren hacer pruebas y estudios de metalurgia extractiva a la par de la elaboración de un mapa geoquímico que permita tomar decisiones en la etapa de explotación y de construcción de las escombreras.
- Se requiere continuar con todos los estudios necesarios de las etapas de proyectos mineros para asegurar el éxito de las decisiones y gestiones que se emprendan a futuro en la explotación de fosfatos en la Formación Navay.

ANÁLISIS DE RESULTADOS. INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD IDENTIFICADOS

En la explotación de metodologías para la identificación de indicadores de sustentabilidad y de gestión integral, se pudo determinar que es necesario establecer cuál es el método minero. Como se veía en la figura 5 y de beneficio de minerales, observamos que existen muchas combinaciones de equipos para distintas opciones en operaciones unitarias, en minería de fosfatos en la Formación Navay, estado Táchira.

Para visualizar qué procesos están involucrados en las operaciones de producción del mineral fosfático, utilizamos un diagrama de espina de pescado que nos permite tener una idea de la cuantía de esos procesos. Este diagrama de producción de mina le podemos agregar, un segundo diagrama que contemple los aspectos que pueden causar problemas en el beneficio de minerales. El Diagrama de Alternativas nos permite determinar cuáles son todas las combinaciones posibles en las operaciones unitarias para la producción de fosfatos de la Formación Navay, estado Táchira. Una vez establecidas las combinaciones posibles se explora dependiendo de la operación unitaria, los ingresos necesarios para llevar a cabo las funciones y los egresos de las mismas. Con la clasificación de los egresos se logra sistematizar por componente afectado, construyendo un par de cuadros dónde vemos que parte del proceso afecta qué componente y otro dónde identificando los materiales utilizados, vemos cuál es la forma de impacto sobre el medio. En este se han clasificado las afectaciones en el medio agua o líquido, medio sólido o suelo, medio aire o gaseoso y medio social – biológico.

Con la información recopilada hasta este punto, se hace por medio afectado, una síntesis gráfica de los impactos y afectaciones. Para determinar si se tratan de variables que podemos manejar y cuánto, se construye un diagrama de localización del riesgo, dónde colocamos las variables en un sistema de ejes cartesianos en el que se representan gráficamente en el eje abscisas las variables controlables y en el eje ordenadas las variables observables. Con esta clasificación en mente, empezamos a buscar acciones de cómo atender los impactos y como se pueden dar. Para esto construimos el cuadro 3 con las recomendaciones y medidas mitigantes para el caso minero de fosfatos. En este cuadro se trata clasificar un poco los tipos de fuentes en móviles y fijas, y sus posibles medidas mitigantes, la cual se constituyen como una serie de acciones que pueden ser temporales o permanentes.

Una vez que hemos considerado las fuentes de los egresos y propuesto medidas mitigantes, debemos pensar en su factibilidad desde el punto de vista de la legislación vigente, tanto nacional como regional. Como no se dispuso de la información regional pertinente acerca

de la legislación del estado Táchira, utilizamos la información disponible nacional de todas las leyes, normativas y reglamentos aplicables a nuestro caso de estudio y se sistematizaron en el cuadro 4. Estos dos cuadros se consideran claves en una buena gestión con planificación de cierre de mina.

La identificación de las variables que aportan riesgo e incertidumbre al proyecto de fosfatos, como se plantea en el capítulo IV de este trabajo, lo que permite es terminar de complementar todas esos indicadores que debemos tener en cuenta para la ejecución y desarrollo de este importante proyecto minero. Estas variables se resumen en el cuadro 6. El desarrollo explicativo de porque estas indicadores son importantes lo tendremos a continuación dentro de este mismo capítulo. Entre las variables más resaltantes encontramos las relacionadas con el modelo geológico, con la geomecánica y la hidrogeología. En estas debemos prestar atención a la información geológica, geoquímica y estructural. Insistiremos en que la construcción de un completo modelo geológico que incluya la mayor parte o todas las variables o indicadores, será un elemento importante para disminuir la incertidumbre de las mismas. Una vez construido dicho modelo geológico, las variables que están relacionadas con la explotación minera se pueden controlar mejor, entre las que podemos mencionar: planificación de la secuencia minera, diseño y disposición de los estériles y construcción de presas de residuos, además del perfeccionamiento del método de beneficio de minerales a aplicar.

Las variables más importantes detectadas fueron las relacionadas con la geología e hidrogeología del yacimiento, las relacionadas con la explotación minera y las operaciones de beneficio del mineral, así como las variables externas como mercado, comportamiento sociocultural y afectación biológica.

Los indicadores de sustentabilidad para la explotación de fosfatos en la Formación Navay, los podemos agrupar de la siguiente manera, como se muestra en el cuadro 6, realizando una clasificación de indicadores en sociales, económicos y financieros, de calidad ambiental y geoambientales, y jerarquizándolos de manera de localizar primero los que consideramos más importantes o cuáles hay que prestarles mayor atención:

Cuadro 6: Resumen de los indicadores de sustentabilidad identificados para la futura explotación de fosfatos en la Formación Navay

Tipo de indicador	Característica que mide
<i>Indicadores sociales</i>	Percepción pública del contenido de uranio en la mena Número de conflictos generados por cambio de uso del territorio Número de empleos generados Número de enfermedades ocasionadas por la actividad minera directa o indirectamente
<i>Indicadores económicos y financieros</i>	Producción de fosfato en el país Número de empleos generados Número requerido de producción de fertilizantes para cumplir con los requerimientos internos del país Precios de venta del fosfato Demanda insatisfecha – comportamiento del mercado Tenor del corte
<i>Indicadores de calidad ambiental</i>	Geoquímica del yacimiento Generación de desechos/mes Contenido de uranio Pérdida de suelos Ruido Vibraciones Polvo/particulado atmosférico Tasa de deforestación Migración de fauna
<i>Indicadores geoambientales</i>	Distribución geoquímica de los minerales del yacimiento Comportamiento hidrogeológico del yacimiento Parámetros de la mena (cemento, porosidad, minerales asociados, composición de la matriz) Parámetros geotécnicos Distribución de elementos de geología estructural: fallas, pliegues, entre otros Otros parámetros geodinámicos (sismicidad)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante el desarrollo de este trabajo se encontraron importantes variables aplicables a la explotación de fosfatos en la Formación Navay, estado Táchira. Algunas de las principales conclusiones y recomendaciones se mencionan a continuación:

- Se debe tener suficiente información geológica, geomorfológica y geomecánica que permita una adecuada y eficiente minería sustentable con una planificación de cierre de mina.
- Se hace necesario que a medida que avancen los estudios exploratorios dentro del estudio de viabilidad del proyecto, se vayan agregando o elaborando un mejor perfil de las variables, esto con la visión de mejorar la gestión a futuro del proyecto.
- Es de gran importancia la elaboración del modelo geológico como insumo de los estudios de viabilidad del proyecto que siguen luego de las fases conceptuales y exploratorias. El modelo geológico será de gran importancia porque está implicado en la posibilidad de manejar otras variables relacionadas con la explotación minera como se muestran en el cuadro 5.
- Importante además es corroborar o desmentir la información sobre el contenido de uranio en las menas, su enriquecimiento y la gestión que se hará de los desechos posteriormente del beneficio de las mismas, para facilitar el manejo del tema de la percepción pública (cuadro 6).
- Se requiere tener la información de la calidad del yacimiento y su comportamiento químico, pues se necesita para ampliar la identificación de variables en las operaciones de beneficio de minerales visualizadas en la figura 8.
- Las variables identificadas tienen como fin permitir a los niveles gerenciales la toma de decisiones, así como las medidas necesarias en los escenarios visualizados.
- Se recomienda continuar con los estudios correspondientes en las Fases de Desarrollo de un Proyecto Minero (anexo B), con el fin de disminuir el riesgo y la incertidumbre, variables naturales del proyecto desarrollado.
- Se recomienda la consideración de estas variables en los estudios de viabilidad del proyecto, con miras a incorporarlas a la planificación de cierre de mina desde el inicio y contemplar las partidas necesarias y suficientes para la ejecución de las medidas mitigantes y de investigación que correspondan.
- Se recomienda además dentro del ítem anterior establecer dentro de la planificación los cronogramas de ejecución de actividades en el marco del cierre de mina.
- Se recomienda realizar un estudio de mercado que permita estimar la cuantía de la demanda insatisfecha y la oferta existente. Estos datos serán de utilidad en el desarrollo de los estudios de viabilidad, durante la planificación minera y el establecimiento de la secuencia de explotación.

REFERENCIAS CONSULTADAS

AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES (ATSDR) (1999) **Resumen de Salud Pública, Uranio. CAS# 7440-61-1**. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. Disponible en línea. www.atsdr.cdc.gov/es.

BENTOR, Y. Editor (1980) **Marine Phosphorites – Geochemistry, ocurrence, genesis**. SEPM. Special Publication No. 29.

BLANK y TARQUIN (2006) **Ingeniería Económica**. Editorial McGraw Hill. México.

CARMONA, C. (1955) **Fosforitas uraníferas en sedimentos de las facies Santa Bárbara y Navay, del Cretáceo Medio – Superior en los estados Táchira y Barinas**. Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología. Informe interno.

CÁRDENAS, H. (1979) **Informe preliminar sobre las rocas sílico – fosfato – uraníferas en la región de Navay, Dtto. Libertador, estado Táchira**. Ministerio de Energía y Minas. Consejo Nacional para el desarrollo de la Industria Nuclear. Informe interno.

CÁRDENAS, H. (1984) **Evaluación Geoeconómica de los Depósitos Areniscas Fosfáticas de las Región de Los Monos Distrito Libertador, estado Táchira**. Ministerio de Energía y Minas. Dirección General Sectorial de Minas y Geología.

CÁRDENAS, L.A. y SUÁREZ, J. (1986) **Estudio Preliminar de la Extracción de Uranio de las Arenas Fosfáticas de Navay (estado Táchira)**. Revista Ciencia e Ingeniería, Universidad de Los Andes, Vol.18, No.1 (1986), pág. 15-22. Disponible en línea.

CARDIM, A. (2001) **Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento – Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento**. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España. Inédito.

COLOMA, J. (1983) **Obtención de concentrados de fosfato a partir de areniscas fosfáticas uraníferas, quebrada Los Monos, Distrito Libertador, estado Táchira**. TEG, Departamento de Minas. Universidad Central de Venezuela. Inédito.

ESPÍ y SEIJAS (2002) **El análisis del Ciclo de Vida aplicado a los materiales de construcción: “El granito de la comunidad de Madrid”**. Escuela T.S.I. de Minas, Universidad Politécnica de Madrid.

FOSFASUROESTE (2009) **Estudio Geológico Definitivo de Roca Fosfática del Yacimiento Los Monos, Municipio Libertador, estado Táchira**. Mapas 1:5000. Informe interno. Inédito.

GRAEDEL & ALLENBY (1995) **Industrial Ecology**. Prentice Hall and AT&T, New Jersey.

INGEOMIN (2009) **Estudio de Exploración Geológico Definitivo de Roca Fosfática del Yacimiento Los Monos, Municipio Libertador estado Táchira**. Gerencia de Proyectos Mineros. Dos mapas.

ITGE (1997) **Manual de evaluación técnico-económica de proyectos mineros de inversión**. España.

ITGE (1995) **Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto**. España.

LÓPEZ, V.; ASCANIO, G.; GUERRERO, V. y BERTORELLI, J. L. (2003) **Rocas industriales de Venezuela**. Fundacite Aragua. Disponible en línea.

LÓPEZ JIMENO y ADUVIRE (2001) **Apuntes del Curso de Extensión de Conocimientos: Estudios de Viabilidad en Proyectos Mineros**. ETS Ingenieros de Minas de Madrid e Instituto Tecnológico FI-UCV.

MARN – Dirección General de Consultoría Jurídica (2004) **Índice Legislativo Ambiental y Normas Afines**. Fundambiente, Fondo Editorial del MARN.

PEÑALOSA, A. (1981) **Areniscas fosfáticas uraníferas en el área de San Joaquín de Navay, estado Táchira. Informe preliminar**. Ministerio de Energía y Minas. Dirección de Geología, División de Recursos Minerales. San Cristóbal, estado Táchira. Informe interno.

PIÑA, A. (2002) **Indicadores de Sustentabilidad en la Toma de Decisiones para Creación de Distritos Mineros, aplicados a Minería Metálica: Au y Fe, en el estado Bolívar**. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Universidad Central de Venezuela. Inédito.

RODRIGUEZ, S. E. (1989) **Phosphorite deposits of Venezuela**. En Phosphate deposits of the world, Volume 2 Phosphate Rock Resources. Cambridge University Press, New York.

TINOCO, O. (2008) Lixiviación Ácida de Minerales de Uranio: Experiencias de su aplicación en el Perú. Minera Sayaatoc, SA. Perú. Disponible en línea.

www.proterandgamble.com

www.pdvsa.com/léxico

http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs150.html consulta 06 de julio de 2010

<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/u.htm> consulta 06 de julio de 2010

<http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/issue/view/57>

downloads.gecamin.cl/cierre_eventos/.../00104_00517_pr.pdf

www.coordinv.ciens.ucv.ve/investigacion/genci/.../R4A-138.pdf

ANEXOS

Anexo A. Legislación venezolana

- i. **Ley Aprobatoria del Convenio de Diversidad Biológica.** Tiene por objeto la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos, mediante, entre otras cosas, un acceso adecuado a esos recursos y una transferencia apropiada de las tecnologías pertinentes, teniendo en cuenta todos los derechos sobre estos recursos y a esas tecnologías, así como una financiación apropiada. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 4780 Extraordinario del 12 de septiembre de 1994.
- ii. **Ley de Diversidad Biológica.** Tiene por objeto establecer los principios rectores para la conservación de la diversidad biológica. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela No. 5468 Extraordinario del 24 de mayo de 2000.
- iii. **Ley No. 55 sobre Sustancias, Materiales y Desechos peligrosos.** Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela No. 5554 Extraordinario del 13 de noviembre de 2001.
- iv. **Ley de Residuos y Desechos Sólidos.** Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela No. 38068 de fecha 18 de noviembre de 2004.
- v. **Decreto No. 2219 de fecha 23 de abril de 1992, por la cual se dictan las Normas para regular la afectación de los recursos naturales renovables asociada con la explotación y extracción de minerales.** Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 4418 Extraordinario del 27 de abril de 1992.
- vi. **Decreto No. 2226 de fecha 23 de abril de 1992, por el cual se dictan las Normas Ambientales para la Apertura de Picas y Construcción de Vías de Acceso.** Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 4418 Extraordinario del 27 de abril de 1992.
- vii. **Decreto No. 638 de fecha 26 de abril de 1995, por el cual se dictan las Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica.** Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 4899 Extraordinario del 19 de mayo de 1995.
- viii. **Decreto No. 883 de fecha 11 de octubre de 1995, por el cual se dictan las Normas de Clasificación y Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos.** Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 5021 Extraordinario del 18 de diciembre de 1995.
- ix. **Decreto N0. 2673, por el cual se dictan las Normas sobre Emisiones de Fuentes Móviles.** Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 36532 del 04 de septiembre de 1998.

Anexo B

FASES DE DESARROLLO DE UN PROYECTO MINERO

Existen tres fases típicas:

1.- Planificación:

Estudio conceptual: Los costos de capital y de operación se estiman a partir de datos históricos de otros proyectos similares.

Estudio de previabilidad o prefactibilidad: Consiste en un estudio previo que tiene como objeto realizar un análisis más detallado de todos los aspectos de importancia, para llevar a cabo un proyecto minero de interés.

Para el estudio de prefactibilidad se consideran los siguientes aspectos:

- Evaluación de reservas
- Programas de producción
- Método(s) de explotación
- Tratamiento mineral
- Servicios necesarios
- Mano de obra y recurso humano
- Infraestructura necesaria
- Estudio de mercado (políticos y sociales)
- Análisis económico y financiero

Estudios de viabilidad: Tienen como objeto proporcionar las bases técnicas, económicas y comerciales para el producto que se desea producir. Contiene los alcances de los trabajos. Es la etapa de decisión del proyecto de inversión es la etapa crítica llamada de “no retorno”.

2.- Implementación:

Ingeniería básica y de detalle:

- Prueba de los equipos y componentes
- Acopio de productos y materiales necesarios para la puesta en marcha.

3.- Producción:

Puesta en marcha: Administración de operaciones y operatividad de los sistemas.

Tratamiento y obtención de producto o productos finales.

Puesta en operación: Supone introducir en las plantas el mineral correspondiente y seguir su tratamiento hasta la obtención del producto o productos finales.

Anexo C. Generalidades del Uranio

Uranio. ATSDR (1999)

El uranio es un elemento radioactivo natural ampliamente distribuido. Se encuentra en cantidades muy pequeñas en la naturaleza en forma de minerales, pero puede ser transformado a un metal de color plateado. Las rocas, el suelo, el agua superficial y subterránea, el aire, las plantas y los animales contienen cantidades variables de uranio.

Las concentraciones de uranio que se encuentran típicamente en algunos materiales son del orden de unas pocas partes por millón (ppm). Esto corresponde a aproximadamente 4 toneladas de uranio en una milla cuadrada de terreno y de un pie de profundidad, o aproximadamente la mitad de un cucharadita de uranio en 8 yardas cúbicas de tierra. Algunas rocas y suelos contienen cantidades más altas de uranio. Si la cantidad de uranio es suficientemente alta, éste se puede extraer de las rocas o suelos. Después de ser extraído, el uranio es convertido a dióxido de uranio o a otras formas químicas a través de una serie de procesos químicos conocidos como la molienda del uranio. El residuo que queda después de ser extraído el uranio se conoce como residuo de molino.

El uranio natural puede ser movilizado de lugar a lugar por procesos naturales o actividades humanas, y cierta cantidad de uranio es removida del suelo por la minería. Cuando el viento o el agua fragmentan las rocas, el uranio pasa a formar parte del suelo. Cuando llueve, el suelo que contiene uranio puede ser arrastrado hacia ríos y lagos. El viento puede mover polvo que contiene uranio al aire.

El uranio natural es radioactivo pero no representa peligro de radiación porque solamente emite pequeñas cantidades de radiación. En el aire, el uranio existe en forma de polvo. Partículas muy pequeñas de polvo de uranio en el aire caen sobre la superficie del agua, de plantas y del suelo debido a la gravedad o cuando llueve. Estas partículas de uranio eventualmente terminan de vuelta en el suelo o en el fondo de lagos, ríos y lagunas, en donde se mezclan con el uranio que ya se encuentra ahí.

El uranio en el agua proviene de diferentes fuentes. La mayor parte proviene de la disolución del uranio de las rocas y el suelo por la acción del agua que fluye sobre o a través de éstos. Solamente una pequeña porción proviene de la deposición de polvo de uranio del aire. Debido a la naturaleza del uranio, muy poco se incorpora en peces o en hortalizas, y la mayor parte de lo que se incorpora en el ganado es eliminada rápidamente en la orina y las heces.

El uranio se encuentra naturalmente en el suelo en cantidades que varían extensamente; sin embargo, la concentración típica es 3 µg (2 pCi) por gramo de tierra. Cuando se encuentran

grandes cantidades de uranio en el suelo, generalmente se trata de suelos con depósitos de fosfatos. La cantidad de uranio que se ha medido en suelos ricos en fosfatos del norte y centro de Florida varía entre 4.5 y 83.4 pCi de uranio por gramo de tierra. En áreas como Nuevo Méjico, donde se mina y procesa uranio, la cantidad de uranio por gramo de tierra varía entre 0.07 y 3.4 pCi (0.1 a 5.1 µg de uranio/gramo de tierra).

Las plantas pueden absorber uranio desde el suelo a través de las raíces, pero éste no pasa al resto de la planta. Por lo tanto, las hortalizas, por ejemplo patatas y rábanos, que se cultivan en suelo contaminado con uranio pueden contener más uranio que si crecieran en suelo con niveles de uranio normales. Lavar las hortalizas o pelarlas generalmente remueve la mayor parte del uranio.

Debido a que el uranio se encuentra en todas partes en pequeñas cantidades, constantemente entra al cuerpo a través del aire, el agua, los alimentos y el contacto con el suelo. La población general ingiere aproximadamente 1 a 2 µg (0.6 a 1.0 pCi) de uranio al día en los alimentos y aproximadamente 1.5 µg (0.8 pCi) por litro de agua que beben. Consecuentemente, la gente en estas áreas ingiere más uranio a través del agua que a través de los alimentos. Es posible ingerir cantidades más altas de uranio si vive en un área con niveles de uranio naturalmente altos en el suelo o el agua, o si vive cerca de un sitio de desechos peligrosos que contiene uranio.

Las personas que trabajan en fábricas que procesan uranio, que trabajan con abonos de fosfato, o que viven cerca de minas de uranio tienen mayores probabilidades de exposición al uranio que otras personas. También pueden entrar al ambiente cantidades de uranio más altas que lo normal a raíz del desgaste de residuos de molinos y minas de uranio y de otros metales.

El uranio es una sustancia química que también es radioactiva. Los científicos nunca han detectado efectos perjudiciales de la radiación proveniente de los niveles naturales bajos de uranio, aunque es posible que algunos efectos ocurran. Sin embargo, los científicos han detectado efectos químicos. Algunas personas han manifestado señales de enfermedad de los riñones después de ingerir cantidades altas de uranio. Lo mismo se ha observado en animales después de ser tratados con grandes cantidades de uranio, de manera que es posible que la ingestión de grandes cantidades de uranio dañe los riñones. Además, existe la posibilidad de que cualquier material radioactivo, como el uranio, produzca cáncer. El uranio natural y el empobrecido son débilmente radioactivos y es improbable que la radiación que emiten produzca cáncer. No se ha descrito ningún tipo de cáncer en seres humanos como resultado de la exposición al uranio natural o empobrecido. El uranio puede decaer a otros radionucleidos, los que pueden producir cáncer si se expone a una cantidad suficiente durante un período prolongado. La opinión de los doctores que investigaron el

cáncer del pulmón y otros tipos de cáncer en mineros de uranio fue que la radiación emitida por el uranio no fue la causa del cáncer. Debido a que los mineros fumaban cigarrillos y estaban expuestos a otras sustancias que sabemos producen cáncer, el cáncer fue atribuido a exposiciones a cantidades altas de radón y a sus productos de transformación radioactivos.

El estar cerca de uranio no es peligroso para la salud porque el uranio emite muy poca de la radiación que penetra el cuerpo, conocida como la radiación gamma. Sin embargo, el uranio normalmente está acompañado por otros productos de transformación durante su decaimiento radioactivo, de manera que también se puede estar expuesto a la radiación de éstos.

No sabemos si la exposición al uranio afecta la reproducción en seres humanos. En algunos experimentos con animales, la exposición a dosis muy altas de uranio ha reducido el número de espermatozoides. En la mayoría de los estudios no se han observado efectos.

Límites internacionales: La EPA también ha decidido que todo residuo de uranio, liberado accidentalmente, que contenga 0.1 Ci de radioactividad (150 kilogramos) debe ser limpiado. La EPA también ha establecido una norma para la cantidad de uranio en residuos de molino. Tanto el NIOSH como la OSHA recomiendan un límite de exposición de 0.05 mg/m³ (34 pCi/m³) para polvo de uranio en el aire del trabajo, mientras que la NRC ha establecido un límite ocupacional de 0.2 mg/m³ (130 pCi/m³). La NRC ha establecido un límite de 0.06 pCi/m³ (0.09 µg/m³) para uranio liberado al aire y de 300 pCi/L (450 µg/L) para uranio liberado al agua. La expectativa de la NRC y la OSHA es que normalmente la población general estará expuesta a concentraciones mucho más bajas de uranio.